

IS

3 | 2025

ILMANSUOJELU

MITÄ TAPAHTUI MAANKÄYTTÖSEKTORIN HIILINIELULLE

– ja miten se heijastuu ilmastopolitiikkaan? s. 4

ENERGIA- JA ILMASTOPOLITIIKAN VAIKUTUSARVIOT s. 8

EUROOPPALAISTA SYNERGIAA ilmakehätutkimuksen ja ilmanlaatutyön välille s. 11

Liikennesektorin **SEKUNDÄÄRISTEN AEROSOLIEN TUTKIMUS** s. 14

Suomen metsäteollisuuden **HIILIDIOKSIDISTA MUOVIN RAAKA-AINETTA?** s. 18

Ohjepaketti **TIEKULJETUSTEN PÄÄSTÖRAPORTOINTIIN** s. 22

ISY JUHLII: ILMANSUOJELUPÄIVÄT 50 VUOTTA s. 30



4

Käsityksemme metsäluontomme hiilinielusta on murroksessa. Maankäyttösektorin nielun haaste odottaa ratkaisuaan.

KUVA: BENOU MECHARAVYMIEN

8

Energia- ja ilmastopolitiikan vaikutusarviot ovat valmistumassa. Tulokset lupaavat haasteita Suomen hiilineutraaliustavoitteelle.

KUVA: DANIEL R / UNSPLASH

30

ISY:n Ilmansuojelupäivät järjestettiin ensimmäistä kertaa 50 vuotta sitten. Nyt juhlavuotena tapahtuma palasi yliopistolle.

KUVA: WU YI / UNSPLASH

KUVA: OUTI VÄKEVÄ

18

Suomen metsäteollisuudessa on potentiaalia hyötykäyttöön kerättävän hiilidioksidin lähteenä. Entä miten kaasu muuttuu muoviksi?

SISÄLLYS 3 | 2025

- 4 **MITÄ TAPAHTUI MAANKÄYTTÖSEKTORIN HIILINIELULLE** – ja miten se heijastuu ilmastopolitiikkaan?
- 8 **KEITO: ENERGIA- JA ILMASTOPOLITIIKAN VAIKUTUSARVIOT**
- 11 **RI-URBANS: EUROOPPALAISTA SYNERGIAA** ilmakehätutkimuksen ja ilmanlaatutyön välille
- 14 **PAREMPI: Liikennesektorin SEKUNDÄÄRISTEN AEROSOLIEN TUTKIMUS**
- 18 **Forest CUMP: Suomen metsäteollisuuden HIILIDIOKSIDISTA MUOVIN RAAKA-AINETTA?**
- 22 **ACE: Ohjepaketti TIEKULJETUSTEN PÄÄSTÖRAPORTOINTIIN**
- 24 **OPINNÄYTE: Agglomeraatiokammion suunnitteleminen nanohiukkasten kemiallisen koostumuksen analysointiin**
- 28 **VALOKEILASSA:** Kaarle Kupiainen
- 30 **TAPAHTUU: ILMANSUOJELUPÄIVÄT 50 VUOTTA**

Pääkirjoitus

Metsien umpikuja

Suomen ilmastopoliittiset tavoitteet vaikuttavat loittonevan, kuin piippujen päistä tuuleen haihtuva hiilidioksidi. Hallituksen lupailema ja merkittäväksi kuvailtu ilmastotoimenpide “piippujen tulppaaminen” eli teknisten nielujen edistäminen näyttäisi valuneen prioriteettitilistalla alaspäin, kun siihenkin kohdistuu säästöjä yritystukien leikkauksilla.

Maankäyttösektorin hiilinielun tilanne on umpikujassa, josta asiantuntija-arvioiden mukaan päästään vain yhteiskunnallisesti ristiriitaisella keinolla; metsien hakkuita vähentämällä. Ilman merkittäviä ja kirveleviäkin toimia voimme hyvästellä kuvitelmat hiilineutraaliuden edelläkävijän tai vihreän siirtymän johtajan roolista.

Suomi on kuitenkin saanut hyviäkin uutisia – nimittäin ilmanlaadusta. Maallamme on valttinaan harva asutus ja monilta osin suhteellisen koskematon luonto, mikä näkyi myös Euroopan ympäristökeskuksen ilmanlaatuvertailussa. Vertailun kymmenen kärjessä oli jopa viisi suomalaiskaupunkia. Meillä hengitetään edelleen puhtaasti myös kaupungeissa, erityisesti vertailun voittajakaupunki Oulussa. Suomen kaupungeissa on tehty hienoa ilmansuojelutyötä, bravo!

Ilmansuojelulehden syyskauden kahdessa ensimmäisessä artikkelissa paneudumme maankäyttösektorin hiilinielun muutoksiin ja niistä ilmastopolitiikalle koituviin haasteisiin, sekä tuoreisiin ilmastopolitiikan vaikutusarvioihin. EU-asetuksen velvoittaman hiilinielun tulevaa alijäämää olisi nopeasti alettava korjata hakkuiden vähentämisellä, sillä vaarana on ongelman paisuminen entisestään. Ilmastopoliittisten lisätoimien skenaariossakin Suomella olisi mahdollisuus hiilineutraaliuteen vasta vuoden 2050 jälkeen.

Kolmannessa artikkelissa esitellään Euroopan laajuisen RI-URBANS -hankkeen ilmanlaatutyölle tuomia hyötyjä: ilmakehän tutkimusinfrastruktuurin menetelmät ja palvelut voivat auttaa kaupunkien ja yhteiskuntien ilmanlaatutyötä.

Niin ikään Euroopan eri maiden yhteistyönä toteutettu PAREMPI-hanke on päättymässä ja lehden seuraavasta artikkelista saamme lukea hankkeen mittavista tuloksista. Sekundäärisiä aerosoleja pakokaasuissa tutkineen hankkeen tuloksena saatiin kartoitettua terveyshaittoja ja selvitettyä päästövähennyskeinoja.

Lehden puolella välissä kerromme, miksi Suomen metsäteollisuudesta syntyvä hiilidioksidi voi olla kiinnostava tulevaisuuden teollisuuden voimavara. Forest CUMP -projekti selvitti mahdollisuuksia tuottaa talteen kaapatusta hiilidioksidista muoveja.

Seuraavaksi selviää, millainen uusi ohjepaketti tiekuljetusten päästöraportointiin on Ilmastoratkaisujen vauhdittaja (ACE) -hankkeessa luotu. Raportoinnin vaiheet on kuvattu ohjeessa selkeästi, jotta käytännön soveltaminen olisi suoraviivaista.

Lehteemme kirjoittavat myös ISY:n vuosittaisen opinnäytetyöstipendin saajat. Tästä lehdestä saamme lukea urauurtavaa tietoa agglomeraatiokammion suunnittelemisesta nanohiukkastutkimuksessa.

Aivan lopuksi raporttoimme 50. Ilmansuojelupäivien seminaaripäivistä sekä tapahtuman merkkipäivän juhlinnasta Lappeenrannassa. Ilmansuojelupäivien juhlinta oli vasta alkusoittoa ISY:n tulevalle juhlavuodelle 2026.

Raikkaita syysilmoja ja ilmansuojeluintoa!

TYTTI RINTANEN

Päätoimittaja



ILMANSUOJELU-YHDISTYS ry.

ILMANSUOJELU-LEHTI

Ilmansuojeluyhdistys ry:n jäsenlehti
Magazine of the Finnish Air
Pollution Prevention Society
Medlemstidning av Luftvårdsföreningen rf.

Lehti ilmestyy neljä kertaa vuodessa.

Päätoimittaja / Redaktör

Tytti Rintanen
ilmansuojelulehti@isy.fi

Toimituskunta / Redaktionsråd

Suvi Haaparanta, Helsingin kaupunki
Petteri Haveri, Energiategollisuus ry
Niina Kuittinen, VTT Oy
Katrianne Lehtipalo, Helsingin yliopisto
Hanna Pitkänen, Vantaan energia
Karri Saarnio, Ilmatieteen laitos
Laura Sokka, Suomen ympäristökeskus
Antti Tohka, Metropolia AMK
Jari Viinanen, Vantaan kaupunki
Outi Väkevä, HSY

Taitto / Ombrytning

Tytti Rintanen

Kannen kuva / Omslagsbild

S Widua / Unsplash

Paino / Tryckeri

Scanseri Oy

ISSN-L 1239-8950

ISSN 1239-8950 (Painettu)

ISSN 2323-1211 (Verkkójulkaisu)

Lehti on luettavissa korkeakoulujen kirjastoissa sekä suurimmissa kaupunginkirjastoissa / Tidningen finns till påseende i högskolornas bibliotek samt i de största stadsbiblioteken

Ilmoitukset / Annonser

Ilmoitushinnat normaali tai yritysjäsen / Annonpris vanligt eller för medlemmar:
1/1 sivu 420 € tai 350 €
1/2 sivu 320 € tai 270 €
1/3 sivu 250 € tai 210 €

Kestoilmoittajille lisäksi 20 % alennus
Fortgående annons ger 20 % rabatt

Tilaukset / Beställningar

Myös yksittäisnumeroiden tilaukset ja osoitteenmuutokset / Beställning av enskilda nummer och adressförändringarna:

Ilmansuojeluyhdistys ry

Sihteeri Hanne Väistö

PL 136,

00251 Helsinki

Puh. 045 1335989

sihteeri@isy.fi

MITÄ TAPAHTUI MAANKÄYTTÖSEKTORIN HIILINIELULLE – ja miten se heijastuu ilmastopolitiikkaan?

Jyrki Aakkula, kehittämispäällikkö, Luonnonvarakeskus
Juha Mikola, tutkimuspäällikkö, Luonnonvarakeskus
Tarja Silfver, erikoistutkija, Luonnonvarakeskus

Suomi asetti viralliseksi ilmastopoliittiseksi päämääräkseen saavuttaa hiilineutraalisuus vuoteen 2035 mennessä kesällä 2019, jolloin tavoite kirjattiin pääministeri Antti Rinteen johtaman hallituksen hallitusohjelmaan. Siitä lähtien hiilineutraaliustavoite on toiminut Suomen ilmastopolitiikan ydinlinjauksena. Hiilineutraaliustavoitteelle tärkeän maankäyttösektorin hiilinielun kokoarviot ovat muuttuneet dramaattisesti. Nopea muutos selittyy Suomen metsien kasvun hidastumisella ja puuston rakenteen muutoksilla, uusilla arvioilla ojitettujen turvemaametsien maaperäpäästöistä, sekä skenaarioiden luomisessa käytettyihin menetelmiin ja oletuksiin tehdyillä tarkennuksilla.

Vuonna 2019 hiilineutraalisuuden saavuttaminen vuoteen 2035 mennessä näytti hyvinkin mahdolliselta. Kasvihuonekaasupäästöt olivat monilla sektoreilla vähentyneet nopeasti ja maankäyttö- eli LULUCF-sektorin hiilinielu vaikutti säilyvän hyvällä tasolla. Erityisesti maankäyttösektorin hiilinielun ylivoimaisesti tärkeimmän osion eli metsämaan (joka kattaa sekä puuston että metsämaaperän) hiilinielu näytti kehittyvän varsin suotuisasti.

Vuonna 2020 julkaistussa Hiilineutraali Suomi 2035 - Skenaariot ja vaikutusarviot -raportissa (Koljonen et al. 2020) arvioitiinkin, että nykytoimiskenaariossa eli WEM-skenaariossa maankäyttösektorin hiilinielu olisi vuonna 2035 noin 18 Mt CO₂-ekv. Sen sijaan tuoreimman arvion eli hiljattain elokuussa julkaistun Kansallisen energia- ja ilmastopolitiikan uudet toimet ja skenaariot (KEITO) – keskipitkän aikavälin vaikutusarviot -raportin (Koljonen et al. 2025a) mukaan maankäyttösektori olisi nykytoimiskenaariossa vuonna 2035 jo lähes 16 Mt CO₂-ekv. päästölähde. Vain noin viidessä vuodessa on tapahtunut valtava muutos arvioissa maankäyttösektorin hiilinielusta. Miten tällainen on mahdollista?

Metsät muuttuneet päästölähteeksi

Laajaa julkista huomiota herättänyt signaali maankäyttösektorin hiilinielun hiipumisesta saatiin, kun kuluvan vuoden tammikuun puolivälissä julkaistiin kasvihuonekaasuinventaarion (KHKI) ennakkotiedot vuodelta 2023 (Luonnonvarakeskus 2025). Ne kertoivat Suomen metsien muuttuneen 1,12 Mt CO₂-ekv. suuruiseksi kasvihuonekaasujen (KHK) päästölähteeksi. Lisäksi ennakkotiedot paljastivat, että metsistä oli tullut päästölähde jo vuonna 2021. Tällaisen tiedon jälkikäteen julkitulo selittyy sillä, että aina kun kasvihuonekaasuinventaarion laskentaan tehdään menetelmä- tai aineistopäivityksiä, vuodesta 1990 alkava aikasarja lasketaan uudelleen. Nyt ennakkotietoja laskettaessa käytettiin uusimpia, vuosina 2019–2023 valtakunnan metsien 13. inventoinnissa (VMI13) mitattuja tietoja Suomen metsävaroista. Ne osoittivat, että puuston kokonaisbiomassan kasvu suhteessa runkotilavuuden kasvuun on pienempi kuin aiemmin arvioitiin. Tämä omalta osaltaan alensi arviota metsien hiilinielun kehityksestä vuodesta 2019 eteenpäin.

On kuitenkin painotettava, että metsäbiomassa ja sen myötä puuston sitoman hiilen määrä Suomen metsissä edelleen lisääntyy. Toisin sanoen puuston vuotuinen kasvu ylittää koko maan tasolla yhä vuotuisen poistuman, joka muodostuu hakkuista ja luontaisesti kuolleista puista. Kyse onkin siitä, että puustobiomassan hiilinielu ei riitä kattamaan turvemaametsien maaperän KHK-päästöjä. Päästöt lisääntyvät, koska ilmasto lämpenee ja maaperän orgaanisen aineksen hajotus sen myötä kiihtyy. Metsämaaperän hiilivaraston kertymistä vähentää omalta osaltaan myös se, että VMI13-metsäinventoinnin tulosten perusteella puissa on aikaisempaa vähemmän kokonaisbiomassaa suhteessa runkotilavuuteen, jolloin karikesyötettä kertyy metsämaaperään vähemmän. Tämä heikentää erityisesti kivennäismaametsien maaperänielua.

Vanhojen ja uusien metsämaaperän KHK-päästölaskelmien välistä eroa on myös lisännyt KHKI:ssä vuonna 2023 käyttöön otettu ojitettujen turvemaametsien maaperän CO₂-päästöjen uudistettu laskentamenetelmä. Siinä laskentaan sisällytettiin kuolleen orgaanisen aineen hajotusta kuvaava malli, joka ottaa huomioon puustossa ja ilmastossa tapahtuvat muutokset. Uudella maaperälaskennalla on ollut suuri vaikutus KHKI-tuloksiin, koska ojitettuja turvemaametsiä on Suomessa paljon ja niiden maaperä on huomattava kasvihuonekaasujen päästölähde.

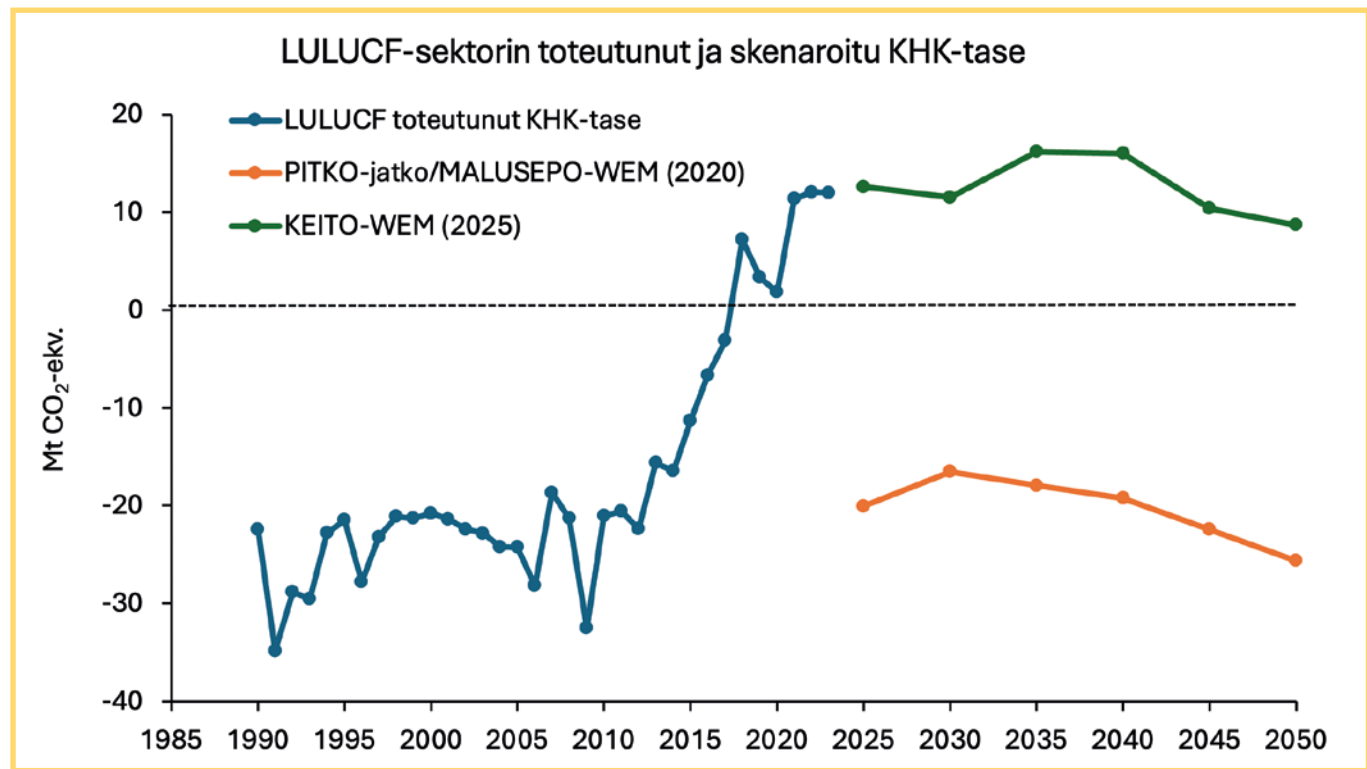
Muutokset heijastuvat politiikan taustaskenaarioihin

Kasvihuonekaasuinventaarion tiedot toimivat myös pohjana tulevaisuuteen suuntautuville maankäyttösektorin ilmastoskenaarioille, ja siten muutokset KHKI-tiedoissa vaikuttavat luotuihin skenaarioihin. Aikaisemmin tehdyt skenaariot maankäyttösektorin hiilinielun kehityksestä ovat perustuneet nykyistä suurempaan arvioon puuston kasvusta ja pienempiin arvioihin metsämaaperän KHK-päästöistä. Tuoreessa KEITO-raportissa esitetyn hiilinieluarvion taustalla on myös itse skenaariolaskentaan tehtyjä parannuksia. Niillä on yhdenmukaistettu KHKI:n ja puuston kehityksen arvioinnissa käytettävän MELA-mallin laskentakäytäntöjä ja muutettu laskentatapaa, jolla ilmaston lämpeneminen otetaan huomioon skenaarioiden laatimisessa.

Aiemmissa maankäyttösektorin skenaarioissa MELA-mallin tuottama puuston hiilinieluarvio on perustunut puuston biomassavaraston laskentakausien väliseen muutokseen. Nyt maankäyttösektorin skenaarioissa MELA-mallin tuottama laskentakauden runkotilavuuden kasvu ja poistuma muunnetaan ensin biomassakasvuksi ja -poistumaksi KHKI:n käyttämällä biomassan muuntokertoimilla. Tämän jälkeen hiilinieluarvio lasketaan biomassakasvun ja -poistuman erotuksena. Menettely on merkittävästi laskenut aiemmin tuotettuja metsien hiilinieluarvioita.

Skenaarioiden ilmaston ennakoinnissa on puolestaan siirrytty realistisempaan arvioon tulevaisuuden ilmastosta. Kasvihuonekaasuinventaariorissa maaperän hiilivarastomuutokset lasketaan malleilla, joissa kuolleen orgaanisen aineksen hajotukseen vaikuttavat sadanta ja ilman lämpötila. Jotta vuosien väliset säävaihtelut eivät sellaisinaan heijastu inventaariotuloksiin, laskennoissa käytetään säämuuttujista 30 vuoden liukuvaa keskiarvoa. Pitkä keskiarvo tasaa sääoloiltaan poikkeuksellisten vuosien vaikutusta, mutta ei kuitenkaan poista ilmastossa tapahtuvaa pidemmän aikavälin muutosta.

Kasvihuonekaasuinventaariorien käytäntöä mukaillen aiemmissa ilmastoskenaarioissa tulevien vuosien sadannan ja lämpötilan ennusteina käytettiin 30 viime vuoden keskimääristä sadantaa ja lämpötilaa. Lämpenevässä ilmastossa lämpötilojen 30 viime vuoden keskiarvo on kuitenkin systemaattisesti alhaisempi kuin keskilämpötilojen pitkän aikavälin trendi ja siten hyvin todennäköisesti aliarvioi tulevien vuosien keskimääristä lämpötilaa. Tästä syystä skenaarioiden luomisessa lämpötilaennusteeksi on vaihdettu keskilämpötilojen pitkän aikavälin trendiä paremmin seuraava kymmenen viime vuoden



LULUCF-sektorin toteutunut KHK-tase (1990–2023) ja kahden eri vuosina (2020, 2025) tuotetun WEM-skenaarioiden ennakoima taseen kehitys (Tilastokeskus 2025, Koljonen et al. 2020, Koljonen et al. 2025).

liukuva keskiarvo. Näin ollen skenaarioissa ilmasto on jonkin verran aiempaa lämpimämpi, mikä lisää metsämaaperän KHK-päästöjä.

Eniten kehitykseen vaikuttavat hakkuut

Muutokset maankäyttösektorin tulevaisuuteen suuntautuissa hiilinieluarvioissa selittyvät siis kolmella tekijällä eli Suomen metsien kasvun hidastumisella ja puuston rakenteen muutoksilla, uusilla arvioilla ojitetujen turvemaametsien maaperäpäästöistä, ja skenaarioiden luomisessa käytettyihin menetelmiin ja oletuksiin tehdyillä tarkennuksilla. Tämän ei kuitenkaan pidä antaa siirtää huomiota pois oleellisimmasta: eniten maankäyttösektorin hiilinielujen kehitykseen vaikuttaa se, mitä oletetaan tulevaisuuden metsähakkuista. Tulevaisuuden metsähakkuisiin vaikuttaa puolestaan se, mitä oletetaan metsäteollisuuden tuotteiden kysynnästä.

Ilmastopoliittikan skenaariot, joissa kuvataan maankäyttösektorin KHK-päästöt ja -poistumat, sisältävät arvion myös siitä, miten metsäteollisuuden tuotteiden kysyntä kehittyy. On kuitenkin vaikeaa ennakoita, millainen metsäteollisuuden tuotteiden kysyntä voisi olla 10, saati 20 vuoden päästä. Siksi hiilineutraalisuustavoitteen saavuttamista arvioitaessa täytyykin laskea eri hakkuutasojen vaikutus metsämaan KHK-päästöihin ja -poistumiin.

Keskimääräinen hakkuukertymä on vuosina 2014–2023 ollut noin 72 milj. m³/vuosi. Vuoden 2035 hiilineutraalisuustavoitteen saavuttaminen edellyttäisi hakkuiden vähentämistä tästä tasosta. KEITO-raportin lisätoimi- eli WAM-skenaariossa maankäyttösektorin hiilinielun pitäisi olla noin 18,5 Mt CO₂-ekv. vuonna 2035, jotta sillä saataisiin katettua muiden sektorien KHK-päästöt ja hiilineutraalisuus saavutettaisiin. Edelleen, koska maankäyttösektorin muissa maankäyttöluokissa (erityisesti viljelysmaat ja kosteikot) syntyy vaikeasti vähennettävissä olevia KHK-päästöjä noin 8,5 Mt CO₂-ekv.,

metsien nielun puutuotteet sisältäen pitäisi olla vuonna 2035 noin 27 Mt CO₂-ekv., jotta hiilineutraalius voisi toteutua. Tästä ollaan kuitenkin KEITO-raportin WAM-skenaariossa kaukana, sillä siinä ennakoiduilla 81–82 milj. m³ vuosittaisilla hakkuilla maankäyttösektori olisi vuonna 2035 peräti 15 Mt CO₂-ekv. päästölähde. Tämä johtuu suurelta osin siitä, että metsät (puutuotteet mukaan lukien) muodostaisivat n. 6,5 Mt CO₂-ekv. päästölähteen.

Tavoitteet edellyttävät vähäisempiä hakkuita

Arvio hiilineutraalisuuden vuonna 2035 toteuttavasta hakkuumäärästä ja sen mukaisesta metsäteollisuuden tuotannosta löytyy vielä julkaisemattoman KEITO LTS -raportin Ympäristö edellä (ENV) -skenaariosta (Koljonen et al. 2025b). Keskimääräiseen nykytasoon verrattuna tarvittaisiin lähes 20 miljoonan kuutiometrin pudotus, sillä vasta niinkin alhaisilla kuin noin 51 miljoonan kuutiometrin vuosittaisilla hakkuilla olisi mahdollista saavuttaa hiilineutraalius vuonna 2035 (tavoitteen saavuttamisen turvamarginaaliksi jäisi tällöin noin 3 Mt CO₂-ekv.). Näin alhainen hakkuutaso vaikuttaisi luonnollisesti suuresti metsäteollisuuden tuotantomahdollisuuksiin. Jos poliittisella tasolla sitoudutaan tulevaisuudessakin vahvasti siihen, että hakkuumäärien annetaan määräytyä markkinaehtoisesti, Suomen on käytännössä mahdotonta saavuttaa kansallisia tai EU:n ilmastotavoitteita maankäyttösektorin nielun avulla. Tällöin on turvauduttava teknisiin hiilinieluihin niiltä osin kuin se on sallittua ja toteuttamiskelpoista.

Maankäyttösektorin hiilinielujen ja teknisten hiilinielujen käyttöön ilmastopoliittikan välineinä liittyy kuitenkin eriäviä näkemyksiä. Viime vuosina on yleistynyt ”like-for-like”-ajattelu (Allen et al. 2022), jonka mukaan ei ole perusteltua yrittää kompensoida fossiilienergian käytöstä syntyneitä KHK-päästöjä maankäyttösektorin hiilinieluilla, vaan ne olisi

KUVA: BENOUMÉCHIAARAVYMEN

pyrittävä kompensoimaan teknisillä hiilinieluilla. Näin siksi, että fossiilienergian käytöstä syntyneet KHK-päästöt mielletään ”pysyviksi”, jolloin niitä kompensoimaan on tuotettava ”pysyvät” nielut, jollaisiksi tekniset hiilinielut mielletään. Maankäyttösektorin hiilinieluja puolestaan pidetään ”väliaikaisina”, jolloin niillä tulee kompensoida vain ”väliaikaisia” päästöjä kuten biomassan energiakäytöstä aiheutuvia KHK-päästöjä.

Hiilinielun romahdus on ilmastopoliittinen haaste

Ilmastopoliittikan näkökulmasta maankäyttösektorin hiilinielun nopea romahdus on joka tapauksessa melkoinen painajainen. Kyse ei ole pelkästään kansallisesti tavoiteltavasta hiilineutraalisuudesta vuonna 2035, vaan myös EU:n asettamien erilaisten ilmasto- ja energiapoliittisten tavoitteiden saavuttamisesta. On käymässä selväksi, että Suomi ei pysty täyttämään EU:n LULUCF-asetuksen tavoitteita maankäyttösektorin hiilinieluista. Tämänhetkisen arvion mukaan Suomelle on syntymässä ensimmäisellä LULUCF-asetuksen velvoitekaudella (2021–2025) 110–115 Mt CO₂-ekv. alijäämä (mahdollisen joustojen hyödyntämisen jälkeen 83–88 Mt CO₂-ekv.), joka siirtyy taakanjakosektorin kannettavaksi, mikäli sen kompensointi ei onnistu muilta EU-mailta ostettavilla nieluyksiköillä (Ympäristöministeriö 2025). Arvio alijäämästä tulee vielä muuttumaan vuosien 2024 ja 2025 KHKI-tulosten ja metsien vertailutason lopullisen päivityksen myötä, mutta

sen mittaluokka säilynee ennallaan.

Maankäyttösektorin hiilinielujen romahdukseen liittyy toinenkin ilmasto- ja energiapoliittinen vaaranpaikka. Koska Suomi ei ole saavuttamassa EU:n LULUCF-asetuksen velvoitteita ja koska LULUCF-sektorin arvioidaan olevan selvä nettopäästöjen lähde sekä EU:lle raportoitavissa ilmastopoliittikan nykytoimi- että lisätoimiskenaarioissa, on olemassa merkittävä riski, että metsäbiomassan energiakäytön kestävyyttä ei voida osoittaa RED III -direktiivin vaatimusten mukaisesti. Tässä tilanteessa metsäbiomassapohjaisen energian laskeminen mukaan uusiutuvien energian tavoitteisiin ja säilyminen kansallisesti tukikelpoisena on epävarmaa (Suomen ympäristökeskus 2025).

Onkin ymmärrettävää pohtia, missä määrin on mielekasta pitäytyä hiilineutraali Suomi 2035 -tavoitteessa, kun tietopohja on merkittävästi muuttunut sen asettamisajankohtaan verrattuna. Tarve vähentää KHK-nettopäästöjä on kuitenkin suuri, ja vaikka saattaisi olla realismia luopua hiilineutraalisuuden saavuttamisesta vuoteen 2035 mennessä, maankäyttösektorilla on silti pyrittävä lisäämään toimivia ja todennettavissa olevia hiilinieluja ja vähentämään maankäytöstä syntyviä KHK-päästöjä. On kuitenkin huomattava, että jos ”like-for-like”-ajattelu otetaan ilmastopoliittikan keskeiseksi periaateeksi niin globaalisti, EU-tasolla kuin kansallisestikin, maankäyttösektorin hiilinielut saattavat menettää ilmastopoliittista merkitystään. ■

Lähteet:

- Allen et al. 2022. Net Zero: Science, Origins, and Implications. Annual Review of Environment and Resources, Vol. 47. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-112320-105050>
- Koljonen et al. 2025a. Kansallisen energia- ja ilmastopoliittikan uudet toimet ja skenaariot (KEITO) – keskipitkän aikavälin vaikutusarviot. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Technology, No. xxx. https://publications.vtt.fi/pdf/technology/2025/KEITO-keskipitkan_aikavalin_vaiikutusarviot_VTT%20Technology_LUONNOS_010725.pdf
- Koljonen et al. 2025b. KEITO LTS -skenaariot. Julkaisematon käsikirjoitus. Lisätietopyynnöt: jyrki.aakkula@luke.fi
- Koljonen et al. 2020. Hiilineutraali Suomi 2035 – Skenaariot ja vaikutusarviot. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Technology, No. 366. ISBN 978-951-38-8722-3. VTT Technology 366: Hiilineutraali Suomi 2035 - Skenaariot ja vaikutusarvot.
- Luonnonvarakeskus 2025. Kasvihuonekaasuinventaarion ennakkotiedot 2023: Metsät ovat kääntyneet

- päästölähteeksi, koska puuston nielu ei enää riitä kattamaan metsien maaperän päästöjä. Luonnonvarakeskus. <https://www.luke.fi/fi/uutiset/kasvihuonekaasuinventaarion-ennakkotiedot-2023-metsat-ovat-kaantyneet-paastolahteeksi-koika-puuston-nielu-ei-enaa-riita-kattamaan-metsien-maaperan-paastoja>
- Suomen ympäristökeskus 2025. Suomen ympäristökeskuksen asiantuntijalausunto asiaan: HE 37/2025 vp Hallituksen esitys eduskunnalle laeiksi biopolttoaineista, bionesteistä ja biomassapolttoaineista annetun lain muuttamisesta ja uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä annetun lain 7 §:n 7 momentin kumoamisesta. Talousvaliokunta 8.5.2025. <https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/JulkaisuMetatieto/Documents/EDK-2025-AK-20922.pdf>
- Tilastokeskus 2025. Toteutunut LULUCF-sektorin KHK-tase 1990–2023: Kasvihuonekaasupäästöt Suomessa, Kaasut yhteensä muuttujina Vuosi, Päästöluokka ja Tiedot. PxWeb.
- Ympäristöministeriö 2025. Ilmastovuosikertomus 2025. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-686-8>



**Euroopan unionin
rahoittama**
NextGenerationEU

KEITO:

ENERGIA- JA ILMASTOPOLITIIKAN VAIKUTUSARVIOT

Lassi Similä, erikoistutkija, VTT
Tiina Koljonen, johtava tutkija, VTT

Kansallisen energia- ja ilmastopolitiikan toimet ja skenaariot -hankkeessa (KEITO) on laadittu laskennallisia ja laadullisia skenaarioita keskipitkän ja pitkän aikavälin energia- ja ilmastopoliittisen päätöksenteon tueksi. Hanke käynnistyi keväällä 2024, ja sen keskipitkän aikavälin tuloksista julkaistiin laaja luonnosraportti heinäkuun alussa 2025. Nämä tulokset palvelivat tausta-aineistona Keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelmalle (KAISU) ja Energia- ja ilmastostrategialle (EIS), joiden luonnokset lähtivät valmistelevien ministeriöiden toimesta lausuntokierrokselle heinäkuun alussa.

Tässä artikkelissa keskitytään VTT:n päävastaulla olleisiin energiajärjestelmän ja sen kehitykseen liittyvien kasvihuonekaasupäästöjen analyysihin. Niiden arvioinneissa VTT:llä käytettiin useita energiajärjestelmän, liikenteen, rakennuskannan ja rakentamisen kehitystä kuvaavia laskentamalleja, kuten TIMES-VTT, ELIISA, MEERI, RAILI ja TYKO ja VTT Build.

Skenaarioissa varioidaan kattavaa joukkoa avainteknologioita ja politiikkatoimenpiteitä

KEITO-hankkeen keskipitkän aikavälin energia- ja ilmastotavoitteiden saavuttamista on tarkasteltu laatimalla nykytoimia kuvaava kehityskulku, eli WEM-skenaario, ja vertaamalla kehitystä lisätoimi- eli WAM-skenaarioon. Skenaarioiden määrittelyissä 31.3.2023 mennessä käyttöön otetut tai päätetyt kansalliset politiikkatoimet kuuluvat WEM-skenaarioon ja tämän jälkeiset WAM-skenaarioon. Näin ollen pääministeri Petteri Orpon hallituksen päätökset, jotka on jo pantu täytäntöön, on sisällytetty WAM-skenaarioon. WAM-skenaariion laskelmiin sisällytettiin joukko mahdollisia uusia energia- ja ilmastopoliittisia toimia, joita on valmisteltu eri ministeriöissä. On huomattava, että KEITO-laskemat eivät ole täysin yhtenevät Orpon hallituksen uusien energia- ja ilmastotoimien linjausten kanssa. Nämä linjaukset on sisällytetty KAISU:n ja strategian luonnoksiin, mutta KEITO-laskelmia laadittaessa näitä tietoja ei ollut vielä käytettävissä.

Laskelmien lähtökohtana molemmissa skenaariossa oli, että EU toteuttaa energia- ja ilmastotavoitteensa. Suomen osalta tarkastellaan, kuinka lähellä tai kaukana energia- ja ilmastotavoitteista kansallinen kehityksemme on – joko nykytoimin (WEM-skenaario), tai mahdollisin kansallisin lisätoimin (WAM-skenaario). Raportti käyttää arvioissaan ajantasaisinta mahdollista tietoa monista energia- ja ilmastopoliittisissa keskustelussa ajankohtaisista teknologioista ja niihin liittyvistä tulevaisuuden investoinneista. Keskeisiä teknologioita, niiden kehitystä ja sovellettavia energia- ja ilmastopoliittisia toimenpiteitä varioidaan eri tavoin WEM- ja WAM-skenaarioissa.

Laskelmien lähtökohtana molemmissa skenaariossa oli, että EU toteuttaa energia- ja ilmastotavoitteensa.

Päästökaupparektorilla on laadittu arvioita energiainventiivisen teollisuuden kehityksestä ja keskeisimmistä julkisesti esitetyistä investointisuunnitelmista. Energian tuotanto- ja käyttösektorilla arviot käsittelevät seikkaperäisesti hiilidioksidin talteenoton ja teknisten hiilinielujen mahdollisuuksia. Tekninen hiilinielu syntyy esimerkiksi, kun bioperäisestä savu- tai prosessikaasusta otetaan hiilidioksidia talteen ja varastoidaan se pysyvästi esimerkiksi geologisiin varastoihin, kuten suolavesikerrostumiin tai vanhoihin öljy- ja kaasulähteisiin (BECCS eli bioenergy carbon capture and storage). Muita puhtaan energian siirtymän avainteknologioita,

joiden kehitystä KEITO-hankkeen päästökaupparektorin arviot keskeisesti käsittelevät, ovat muun muassa maa- ja merituulivoimahakkeet, aurinkovoima, sähkökattilat, SMR-ydinlämpökattilalaitokset ja datakeskukset.

Sekä WEM- että WAM-skenaariolaskelmissa on huomioitu uuden taakanjakosektorille kohdistuvan päästökaupparekanismin käynnistyminen vuonna 2027, sillä se vaikuttaa koko taakanjakosektorin fossiilisten polttoaineiden jakelijoihin pieniä poikkeuksia lukuun ottamatta. Taakanjakosektoriin kuuluvan tieliikenteen kansallisista toimenpiteistä ylivoimaisesti suurin vaikutus päästöjen kehitykseen on jakeluvelvoitteella, johon kohdistuu kaksi toimenpidettä: jakeluvelvoitteen keventäminen vuosina 2024–2027 sekä julkisesti ladatun uusiutuvan sähkön sisällyttäminen jakeluvelvoitteeseen. VTT:n laskelmien mukaan näillä molemmilla on päästöjä kasvattava vaikutus ennen vuotta 2030, joten tieliikenteen kasvihuonekaasupäästöt ovat jopa korkeammat WAM-skenaariossa kuin WEM-skenaariossa.

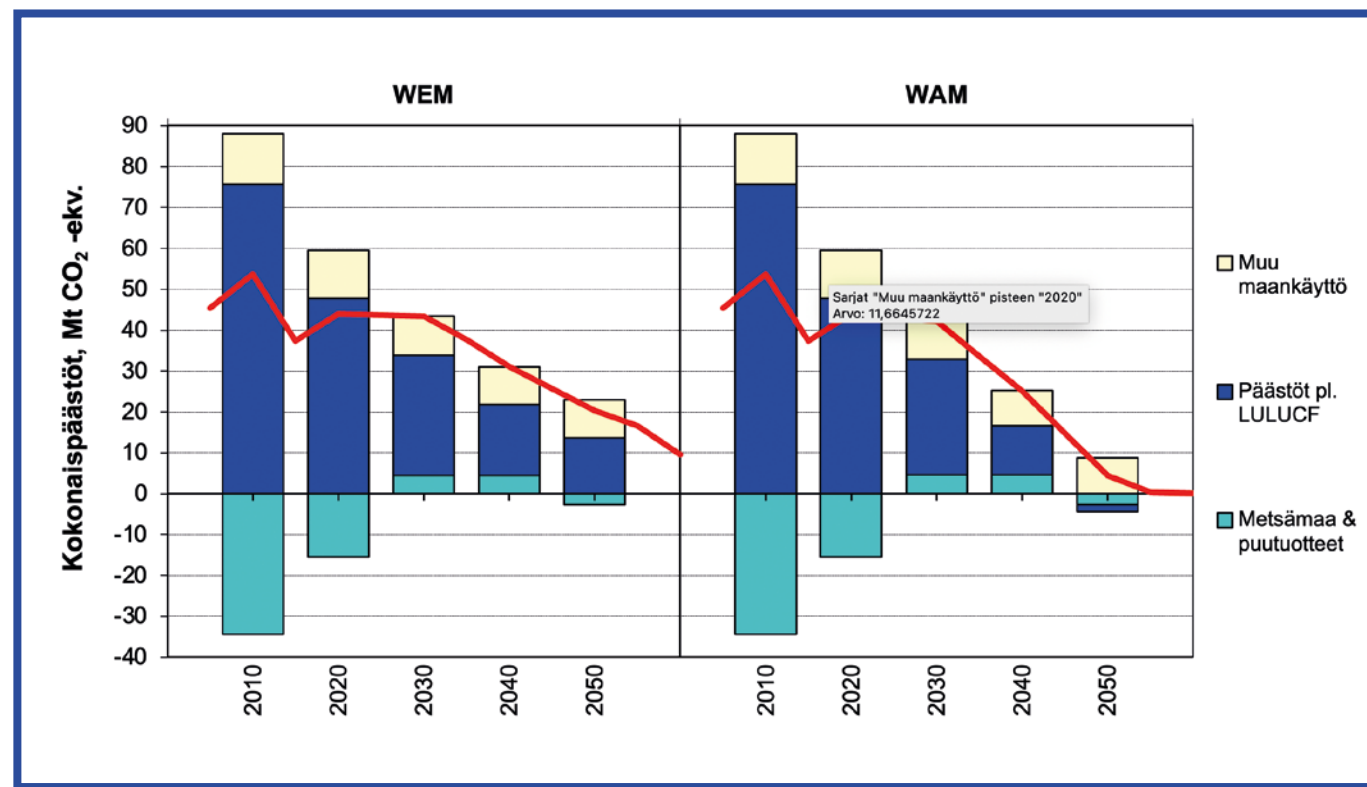
KEITO-laskelmissa biopolttoöljyn jakeluvelvoitetta oli nostettu 30 prosenttiin.

Rakennuskannan kehityksen lähtökohtana on vuoteen 2020 mennessä valmistunut rakennuskanta, josta on vuonna 2055 jäljellä noin 70 prosenttia. Tulevaa kehitystä rakennuskannan skenaarioarvioissa määrittävät keskeisesti rakennuksen energiatehokkuusdirektiivin (EPBD) tulevat vaatimukset. Rakennussektorin päästöt vähenevät siten merkittävästi jo WEM-skenaariossa. WAM-skenaariossa lisäpäästövähennykset johtuvat pääosin EU:n esittämistä velvoitteista lisätä aurinkoenergian määrää rakennussektorilla.

KAISU-luonnoksessa esitetään, että biopolttoöljyn jakeluvelvoite nostettaisiin nykyisestä kymmenestä prosentista 15 prosenttiin vuonna 2030. KEITO-laskelmissa biopolttoöljyn jakeluvelvoitetta oli nostettu 30 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä, millä on merkitystä erityisesti työkalu- ja koneiden päästöihin, mutta myös taakanjakosektorin lämmityksen ja teollisuuden päästöihin.

Kasvihuonekaasu- ja uusiutuvan energian tavoitteet näyttävät mahdollisilta

KEITO-hankkeen keskipitkän aikavälin laskennallisissa analyysissä tarkasteltiin EU:n asettamien energia- ja kasvihuonekaasupäästötavoitteiden saavuttamista mukaan lukien uusiutuvan energian ja energian loppukulutuksen tavoitteet sekä taakanjakosektorin KHK-päästötavoite vuodelle 2030. Lisäksi arvioitiin kansallisessa ilmastolaissa määriteltujen vuosien 2030, 2040 ja 2050 koskevien päästötavoitteiden sekä vuodelle 2035 asetetun hiilineutraalisuustavoitteen saavuttamista. Laskelmien mukaan Suomi voisi saavuttaa ilmastolain mukaiset päästötavoitteen vuosina 2030, 2040 ja 2050 edellyttäen, että BECCS-teknologiat otetaan laajamittaisesti käyttöön vuoden 2030 jälkeen. WEM- ja WAM-skenaariotarkastelujen tulosten mukaan Suomi tavoittaisi niukasti uusiutuvan energian 62 prosentin tavoitteen energian loppukulutuksesta vuonna 2030.



Kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien kokonaistase WEM- ja WAM-skenaariossa 2010–2050.

Energian loppukulutus- ja hiilineutraalisuustavoitteissa merkittävimmät haasteet

Arvioiden mukaan energian loppukulutuksen tavoitetta vuonna 2030 ei saavuteta, vaan sekä WEM- että WAM-skenaariossa energian loppukulutus ylittää noin 30 TWh:lla tavoitteen huolimatta siitä, että koko energiajärjestelmä tehostuu merkittävästi, kun irtaudutaan fossiilisten polttoaineiden käytöstä ja koko energiainfrastruktuuri uudistuu. Kuitenkin oletukset teollisen tuotannon, rakennuspinta-alan, liikennesuoritteiden ja palvelusektorin, mukaan lukien datakeskukset, maltillisesta kasvusta kumoavat osittain tehostumisen myötä saavutetun myönteisen kehityksen. Mikäli uusiutuvan energian investoinnit eivät toteudu oletetulla tavalla yhtä nopeasti kuin energian kysynnän kasvu, vaikeutuu myös uusiutuvan energian tavoitteen saavuttaminen.

Suomi jää kauaksi vuodelle 2035 asetetusta hiilineutraalisuustavoitteesta.

EU:n ja kansallisen ilmastolain asettamia kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistavoitteita vuosille 2030, 2040 ja 2050 ei saavuteta nykytoimin, mutta ne voitaisiin saavuttaa lisätoimin, mikäli investoinnit puhtaaseen siirtymään toteutuvat riittävän nopeasti. Vuosien 2040 ja 2050 päästötavoitteiden saavuttamisen kannalta keskeistä on investoinnit teknisiin hiilinieluihin. Myös taakanjakosektorin osalta vuoden 2030 päästötavoitteen saavuttaminen (KHK-päästöjen tulisi laskea tasolle 17,1 Mt CO₂-ekv. vuonna 2030) näyttää WAM-skenaariossa mahdolliselta. Tämä edellyttää kuitenkin, että Suomi käyttää niin sanottuja joustomekanismeja, eikä toisaalta ylitä päästökiintiöitään vuosina 2025–2030, koska taakanjakosektorin päästöura huomioidaan kumulatiivisesti koko aikajaksolta.

On kuitenkin epäselvää, missä määrin joustot ovat Suomessa käytössä maankäyttö- eli LULUCF-sektorin heikentyneen nielukehityksen takia. Mikäli Suomi ei saavuta EU:n LULUCF-asetuksen velvoitteita, vaje voi joutua pahimmassa tapauksessa taakanjakosektorin kannettavaksi, mikä vaarantaa myös taakanjakosektorin päästötavoitteen saavuttamisen.

Laadittujen kokonaispäästölaskelmien, joissa on huomioitu myös Luonnonvarakeskuksen arvioimat maankäyttösektorin päästöt, mukaan suurimmat haasteet liittyvät maankäyttösektorin päästökehitykseen keskipitkällä aikavälillä. Sen vuoksi Suomi jää kauaksi vuodelle 2035 asetetusta hiilineutraalisuustavoitteesta. Päästökuilu vuonna 2035 on WEM-skenaariossa peräti 38 Mt CO₂-ekv. ja WAM-skenaariossakin 34 Mt CO₂-ekv. Suomi ei saavuta hiilineutraaliutta WEM-skenaariossa koko laskentajaksolla, ja WAM-skenaariossakin vasta vuoden 2050 jälkeen. On syytä huomata, että kaikkiin mallinnuksiin liittyy huomattavaa epävarmuutta, eikä esimerkiksi kaikkia metsien kasvun ja hiilinielujen vahvistamisen toimenpiteitä pystytty huomiomaan. ■

Tuloksia, oletuksia, menetelmiä ja lähtöaineistoja on yksityiskohdaisemmin kuvattu luonnosraportissa, joka on jo saatavilla hankkeen verkkosivuilta. Raportin lopullinen versio ja pitkän aikavälin osuus (LTS) julkaistaan syksyllä 2025, ja myös ne tulevat saataville osoitteeseen: <https://hiilineutraalisuomi.syke.fi/projektit/re-power-cest/julkaisut-ja-media/>.

KEITO-hanke on toteutettu Euroopan unionin REPower-rahoitusinstrumentin avulla, yhteistyössä Syken koordinoiman REPower CEST- ja Luken REPower-hankkeen kanssa. Tämä NextGenerationEU-hanke on Euroopan unionin rahoittama. Työtä on toteuttanut laaja joukko tutkijoita VTT:ltä, Sykestä, Lukesta ja GTK:lta. Esitetyt näkemykset ja mielipiteet ovat ainoastaan tämän tekstin laatijoiden näkemyksiä eivätkä välttämättä vastaa Euroopan unionin tai komission kantaa.



Kuva 1. RI-URBANS:in kolmas tiedekokous pidettiin syyskuussa 2024 Helsingissä.

RI-URBANS: EUROOPPALAISTA SYNERGIAA ilmakehätutkimuksen ja ilmanlaatutyön välille

Eurooppalaisen RI-URBANS-hankkeen tavoitteena oli osoittaa, kuinka ilmakehän tutkimusinfrastruktuurien tarjoamia menetelmiä ja palveluita voidaan mukauttaa ja kehittää vastaamaan Euroopan kaupunkien ilmanlaatuun liittyviin haasteisiin ja yhteiskunnallisiin tarpeisiin. Hankkeessa huomioitiin erityisesti päivitetyn ilmanlaatudirektiivin uudet vaatimukset ilmanlaadun seurannalle. Syyskuun lopussa päättyneeseen hankkeeseen osallistui 25 tutkimuslaitosta eri puolilta Eurooppaa. Suomesta mukana oli Ilmatieteen laitos sekä hankkeen toisena koordinaattorina toiminut Helsingin Yliopisto.

Katianne Lehtipalo, professori, Helsingin Yliopisto
Tuukka Petäjä, professori, Helsingin yliopisto
Katriina Kyllönen, erikoistutkija, Ilmatieteen laitos

Päivitetty ilmanlaatudirektiivi (EU) 2024/2881 asettaa jäsenmaille monia uusia velvoitteita, kuten uusien ilmanlaatuparametrien (mm. ultrapienien hiukkasten, mustan hiilen ja ammoniakkin) mittaamista sekä korostaa mallintamisen asemaa ilmanlaadun seurannassa. Lisäksi direktiivissä on kehitetty terveysvaikutusten ja kansalaisten huomioimista ilmanlaadun parantamiseksi. Uusien vaatimusten täyttämiseksi ei kuitenkaan monilta osin ole vielä valmiita ratkaisuja, eikä kaikkien uusien ilmanlaatuparametrien mittaamiseen ole toistaiseksi julkaistu virallisia ohjeita.

RI-URBANS-hanke vastasi tarpeeseen kehittää ilmanlaadun

seurantaa, parantaa ilmanlaatua ja vähentää ilmansaasteisiin liittyviä terveyshaittoja EU:ssa. Hankkeessa yhdistettiin tieteellistä osaamista ja innovatiivista teknistä kehitystyötä, jotka parantavat ilmanlaadun seurantaverkoston kykyä tuottaa tarvittavia havaintoja kaupunkien ja liikenneympäristöjen (ns. hotspottien) ilmansaasteiden arviointiin, ennustamiseen ja vähentämiseen. RI-URBANS tukeutui vahvasti ilmanlaadun seurantaverkoston, ilmanlaatuasiantuntijoiden sekä eurooppalaisten tutkimusinfrastruktuurien (erityisesti ACTRIS ja IAGOS) asiantuntemukseen soveltaakseen olemassa olevia menetelmiä kaupunkiympäristöihin, kehittämällä uusia työkaluja ja suosituksia, sekä vahvistaakseen yhteistyötä ilmanlaadun eri toimijoiden välillä.

RI-URBANS:issa pyrittiin laajentamaan Euroopan havaintoverkostoa erityisesti ulkoilman ultrapienien hiukkasten

Erityisesti uusien ilmanlaatuparametrien mittaushajeden odotetaan helpottavan paikallisten mittausverkkojen työtä.

lukumääräpitoisuuden ja kokojakauman, hiukkasten kemiallisen koostumuksen, lähteiden ja kaasumaisten lähtöaineiden osalta. Hankkeessa arvioitiin uusia ilmanlaadun parametreja (kuten musta hiili, ammoniakki ja hiukkasten hapettamispotentiaali), sekä niihin linkittyviä terveysvaikutuksia, jotta voitaisiin osoittaa, minkälaista lisäarvoa uudet havainnot tuottavat Euroopassa. Viiden pilottihankkeen avulla tutkittiin, kuinka täydentäviä mittausjärjestelmiä ja -menetelmiä, esimerkiksi ilmanlaatumalleja ja kansalaishavaintoja, voidaan yhdistää ja soveltaa erilaisiin ympäristöihin.

Helsinki mukana pilottihankkeissa

RI-URBANS:in aikana toteutettiin viisi pilottitutkimusta yhdeksässä eurooppalaisessa erilaisissa ilmanlaatu-ympäristöissä edustavassa kaupungissa. Mukana olivat Ateena, Barcelona, Birmingham, Bukarest, Helsinki, Milano-Bologna, Pariisi, Rotterdam-Amsterdam ja Zürich (kuva 2). Kaupunkeja yhdistää kyky tehdä kehittyneitä pitkäaikaisia ilmanlaadun havaintoja sekä kyky saada paikalliset ja alueelliset seuranta-verkostot sitoutumaan tulosten hyödyntämiseen. Esimerkiksi Helsingissä ultrapienien hiukkasten kokojakauman reaaliaikaisista seurantaa kehitettiin Mäkelänsädan asemalla yhdessä HSY:n kanssa.

Pilottien tavoitteena oli osoittaa todellisessa mittakaavassa ilmanlaatu-tutkimusinfrastruktuurien kyky tuottaa havaintoja ja lähdeanalyysiä reaaliaikaisesti, yhdistää toisiaan täydentäviä mittausjärjestelmiä ja -menetelmiä sekä tutkia, kuinka tehokkaasti kaupunkien ilmanlaadun havainnointijärjestelmän eri osat voidaan integroida tutkimus- ja seurantatarkoituksiin.



Kuva 2: RI-URBANS-hankkeen pilottikaupungit.

Number	Guidance document topic
Protocols for the measurement of novel AQ pollutants	
ST1	Ultrafine-Particle Number Size Distributions (UFP-PNSD)
ST2	Black Carbon (BC)
ST3	Offline and online particulate matter (PM) speciation
ST4	Oxidative potential of particulate matter (OP of PM)
ST5	Volatile Organic Compounds (VOCs)
ST6	Ammonia (NH ₃)
Methodologies for vertical profiles of pollutants and meteorology	
ST7	Measurements of boundary level height
ST8	Measurements of vertical profiles of aerosols
ST9	Measurements of vertical IAGOS vertical profiles by commercial aircrafts
Methodologies for source apportionment receptor modelling	
ST10	Source apportionment techniques for particulate matter
ST11	Source apportionment of eBC, UFP, OP and VOCs
Methodologies for urban mapping of novel air quality pollutants	
ST12	Deterministic urban modelling of fine PM and PNC
ST13	Mapping ultrafine particles and citizen science
Methodologies for evaluating the health effects of novel AQ pollutants	
ST14	Evaluation of health effects of novel air quality parameters
Obtaining emission inventories for novel AQ pollutants	
ST15	First UFP-PNSD and non-exhaust vehicle PM EU emission
Modelling methodologies for novel AQ pollutants	
ST16	UFP-PNSD multiscale modelling

Taulukko 1. RI-URBANS-hankkeessa kehitettiin yhteensä 16 ohjeistusta uusille ilmanlaatu-parametreille, kuten mustan hiilen ja ultrapienien hiukkasten mittaamiselle.

Uusia ohjeita, työkaluja ja koulutusta

Hankkeen aikana kehitettiin ja testattiin uusia ohjeita ja työkaluja (ns. Service Tools, ks. taulukko 1), joiden avulla ilmanlaatu-havaintoja voidaan parantaa ja täydentää. Työkalujen tarkoituksena on tukea EU-jäsenvaltioiden työtä uuden ilmanlaatudirektiivin vaatimusten saavuttamiseksi. Päätöksenteon ja kansallisten valmistelujen tueksi tehtiin yhteenve-to, joka korostaa uusien mittausten lisäarvoa kaupunkilais-ten terveyden ja puhtaan ilman näkökulmasta (ks. lähteet).

Työkaluja voidaan hyödyntää kehittäessä ilmanlaadun seu-rantaa ja arviointia RI-URBANS-hankkeen suositusten mu-kaisesti. Hankkeen suosituksiin sisältyy erilaisia ohjeistuksia uusien ilmanlaatu-parametrien mittaamisesta, kartoituksesta, päästöinventoinnista ja mallinnuksesta, sekä ehdotuksia epidemiologisista lähestymistavoista uusien epäpuhtauksien terveysvaikutusten arvioimiseksi. Erityisesti uusien ilmanlaa-tuparametrien mittaushajeden (ST1–ST6) odotetaan helpot-tavan paikallisten mittausverkkojen työtä, sillä ultrapieniä hiukkasia lukuun ottamatta näille ei toistaiseksi ole ollut vi-rallisia ohjeistuksia. Esimerkiksi hankkeessa tehty mustan hiilen, ammoniakki ja hiukkasten hapettamispotentiaalin mittaushajheet ovat ensimmäisiä Euroopan tason ohjeita, jot-ka kattavat erilaisia vaihtoehtoja mittaushajheetmenetelmän valin-nalle. Hankkeessa järjestettiin myös useita etäkoulutuksia, joiden tallenteita voi edelleen katsoa hankkeen nettisivuilla.

Kaikkiaan työkaluja kehitettiin hankkeen aikana 16, ja nii-hin liittyvät ohjeistukset ovat saatavilla hankkeen nettisivuil-la. Lopullisena tavoitteena on varmistaa kehitettyjen mene-telmien ja työkalujen skaalattavuus ja kestävyys, mukaan lukien tehokas datan hallinta, säilyttäminen ja saatavuus, koulutus ja osaamisen kehittäminen sekä käytettävyys tule-vaaisuudessa. ■

Hankkeessa pidetyt koulutukset:

- Ultrapienien hiukkaset: <https://riurbans.eu/a-series-of-training-events-addressing-harmonized-measurements-of-emerging-pollutants-of-the-new-air-quality-directive/>
- Kokojakauma: Follow-up: Second Training on Harmonized Measurements of Emerging Pollutants - RI-URBANS
- Musta hiili: <https://riurbans.eu/follow-up-third-training-on-harmonized-measurements-of-emerging-pollutants-focused-on-equivalent-black-carbon/>
- Stakeholder webinar: <https://riurbans.eu/join-us-for-the-final-ri-urbans-stakeholder-webinar-10-september-2025/>
- Ilmanlaadun kartoitus: <https://riurbans.eu/webinar-on-urban-mapping-19-september-2025/>
- Aerosolien lähdeanalyysi: <https://riurbans.eu/webinar-on-source-apportionment-29-september-2025/>

Lähteet

Guidance documents on measurements and modelling of novel air quality pollutants in urban Europe: Summary and added value, 2025. Editors: Xavier Querol, Fulvio Amato, Andrés Alastuey, Tuukka Petäjä, Katriina Kyllönen, Rosa Petracca: https://riurbans.eu/wp-content/uploads/2025/08/Booklet_AXA_def.pdf
Ilmanlaadun päivitetty direktiivi (EU) 2024/2881: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/2881/oj/eng>
Hankkeessa kehitetyt työkalut: <https://riurbans.eu/project/#service-tools>



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

ILMANLAADUN JA UUSIUTUVAN ENERGIAN ASIAANTUNTIJA

- Päästöjen leviämismalliselvitykset
- Ilmanlaadun mittaukset
- Mittalaitteiden kalibrointipalvelut
- Ilmakemian analyysipalvelut
- Ilmanlaadun seurantasuunnitelmat
- Ilmanlaadun koulutus- ja konsultointipalvelut
- Tuulimittaukset
- Tuuli- ja jäätämistälastulosten analysointi
- Paikallisen tuulivoimapotentialin määrittäminen
- Tuulivoiman tuuliennusteet
- Aurinkoenergian tuotantopotentiaali ja ennusteet
- Kansainväliset hankkeet ja tutkimushankkeet

WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI/ILMANLAATUPALVELUT
ILMANLAATUPALVELUT@FMI.FI



Kuva: Laura Karlin



PAREMPI

Liikennesektorin SEKUNDÄÄRISTEN AEROSOLIEN TUTKIMUS

Liikkuminen on yhteiskunnalle tärkeää, mutta se aiheuttaa merkittäviä kasvihuonekaasu- ja ilmansaastepäästöjä. EU:n rahoittamassa PAREMPI-hankkeessa tutkittiin maa-, meri- ja lento- liikenteen pakokaasupäästöjä sekä niiden ilmanlaatu- ja terveysvaikutuksia. Hankkeen keskiössä oli erityisesti kaasumaisista yhdisteistä ilmakehässä syntyvä sekundäärinen aerosoli, jonka havaittiin olevan korkeampi kuin pakokaasulainsäädännön mukaisesti mitattu hiukkaspäästö.

Päivi Aakko-Saksa, johtava tutkija, VTT
Hiikka Timonen, johtava tutkija, Ilmatieteen laitos
Topi Rönkkö, professori, Tampereen yliopisto

Liikenteen rooli sekundääristen aerosolien muodostumisessa on jäänyt vähälle huomiolle, vaikka monia päästöjä jo säädellään. Sekundääristen aerosolien määrittäminen on haastavaa mutta välttämätöntä ilmanlaadun hallinnan kannalta. Alla esitetyt tulokset perustuvat EU-rahoitteisen PAREMPI-hankkeen tutkimukseen liikenteen sekundääristen aerosolien päästöistä, niiden lähteistä, haitallisuudesta ja vähennyskeinoista. Pakokaasumittaukset toteutettiin VTT:n, Tampereen yliopiston, Ilmatieteen laitoksen, Bosmalin, IEM:n ja ONERAN:n yhteistyönä. Mittauksissa tutkittiin autojen, rekkujen, laivojen ja lentokoneiden päästöjä. Lisäksi Lundin yliopistossa tutkittiin jarrupölypäästöjä.

Sekundääristen aerosolien muodostuminen

Sekundääriset aerosolit (SecA) syntyvät kaasumaisten yhdisteiden reaktioista ilmakehässä veden, hapen, hapettimien ja auringonvalon vaikutuksesta. Niin kutsuttuja prekursorikaasuja, jotka tuottavat sekundäärisiä aerosoleja, ovat pääasiassa rikin oksidit (SO_x), typen oksidit (NO_x), ammoniakki (NH_3) sekä aromaattiset yhdisteet. Polttoaineiden palaessa ilman kanssa syntyy SO_x -, NO_x - ja aromaattisia yhdisteitä, kun taas NH_3 :a muodostuu joissakin pakokaasujen jälkikäsitelylaitteissa.

Prekursorikaasujen ilmakehäreaktiot ovat monimutkaisia ja niihin vaikuttavat paikalliset olosuhteet (esim. meteorologia, hapettimet, UV), pakokaasun koostumus ja ilmakehän muut yhdisteet. Pakokaasulainsäädännössä tunnettu hiukkasmassapäästö (PM) saattaa kasvaa suuresti näissä reaktioissa tuottaen sekundääristä aerosolia, joka lisää ilmakehän $\text{PM}_{2.5}$ -pitoisuuksia. Ilmakehän $\text{PM}_{2.5}$:n terveys- ja ympäristöriskit ovat tunnettuja ja sille on asetettu ilmanlaadun raja-arvo. $\text{PM}_{2.5}$ sisältää hiukkasia monista päästölähteistä. Tässä artikkelissa sekundääristen reaktioiden jälkeen ikääntyneestä hiukkasmassasta käytetään lyhennettä PM_{aged} kuvaamaan hiukkasmassaa, joka sisältää sekä pakokaasun hiukkaset että ilmakehässä pakokaasun ikääntyessä syntyneet hiukkaset.

Liikennesektoreiden välillä on eroja

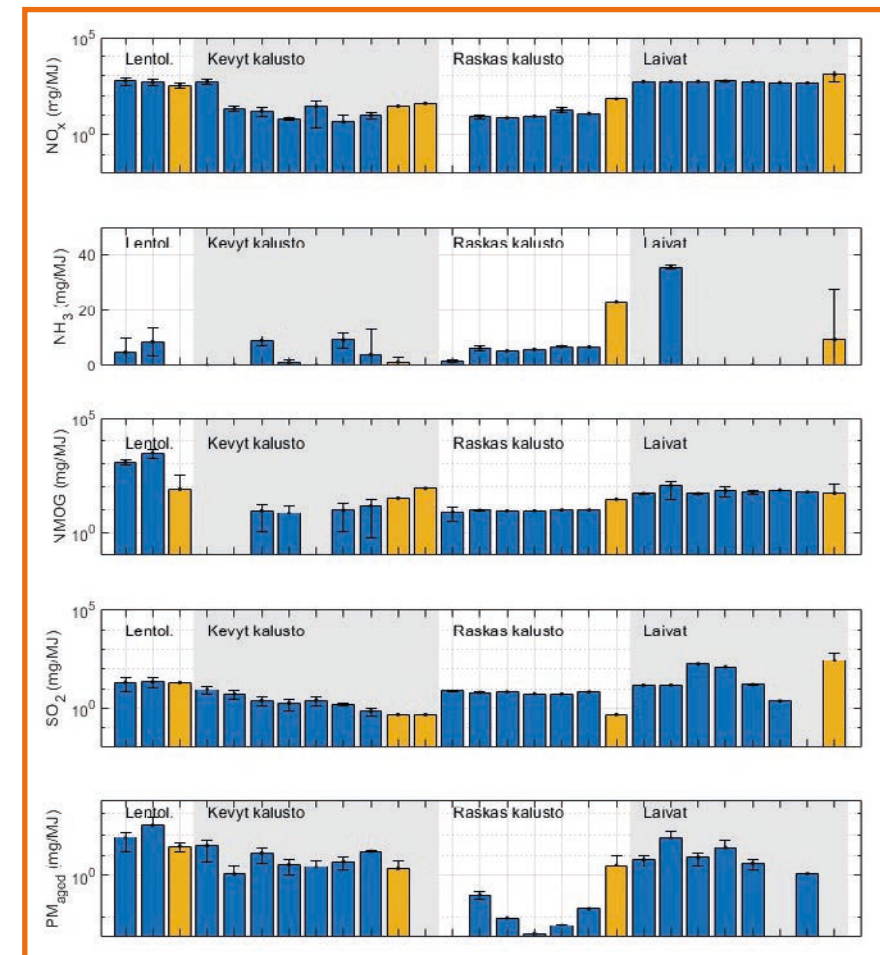
Seitsemän modernin auton (2 PHEV, 2 bensiini, 2 diesel, 1 CNG) päästöjä mitattiin laboratorio-olosuhteissa eri lämpötiloissa (-9 , $+23$, $+35$ °C) maantieajoa (RDE) simuloiden. Vaikka autojen päästöt ovat pienentyneet raja-arvojen kiristyessä, havaittiin että uusillakin autoilla päästöt kohosivat kylmäkäynnistyksissä ja PHEV-ajoneuvojen siirtyessä akuista polttomootorikäyttöön. Korkeat NH_3 -päästöt lisäsivät ammonium- ja nitraattihiukkasten muodostumista, mutta autojen NH_3 -päästöjä ei nykyisin rajoiteta. PM_{aged} -päästöt olivat korkeammat kuin lakisääteiset PM-päästöt. Bensiiniautoilla havaittiin SecA:n muodostumista, mihin vaikuttaa muun muassa polttoaineen aromaattiset yhdisteet.

Raskaan kaluston tutkimuksessa kahdella Euro VI -luokan rekalla ajettiin talviolosuhteissa Suomessa muun muassa 80 kilometrin ja 200 kilometrin reiteillä käyttäen sekä fossiilista että uusiutuvaa dieseliä. Ainutlaatuisissa mittausjärjestelyssä kattava laitteisto rakennettiin puoliperävaunuun sijoitettuun merikonttiin. Sekä uuden että vanhemman rekan päästöt olivat alhaiset, mutta kohonneita päästöjä havaittiin kylmäkäynnistyksen jälkeen. NH_3 -päästöt olivat matalia. Arvioitua korkeammat SO_2 -pitoisuudet viittaavat voiteluöljyn vaikutukseen.

Meriliikenteen päästöjä tutkittiin dieselgeneraattorilla ilman jälkikäsitelyä käyttäen meripolttoaineita eri rikkipitoisuuksilla (0.1 %, 0.5 %, 3.5 %), tuhkakomponentilla sekä biodieselin (FAME) seoksena. NH_3 -päästöjä simuloitiin ruiskuttamalla sitä pakokaasuun. VOC-päästöt olivat korkeita ja PM_{aged} sisälsi erityisesti joko orgaanista ainesta, sulfaatteja tai nitraatteja käytetyn polttoaineen tai NH_3 -injektioinnin mukaan. Pakokaasujen SO_2 - ja NH_3 -prekursorikaasujen pitoisuuksilla oli suuri merkitys päästöihin.

Lentoliikenteen päästöjä tutkittiin käyttäen CAST:ssa seitsemää eri lentopolttoainetta (esim. Jet A-1 ja SAF), jotka erosivat toisistaan muun muassa rikki- ja aromaattipitoisuuksiltaan. VOC- ja NO_x -, PM- ja PM_{aged} -päästöt olivat erittäin korkeita ja hiukkaset sisälsivät pääasiassa orgaanisia yhdisteistä. Polttoaineen vaikutus päästöihin korostuu lentokoneiden kohdalla, sillä pakokaasujen jälkikäsitelyä ei niissä käytetä.

PAH-yhdisteiden pitoisuudet autoilla ja rekoilla olivat korkeampia semihaihtuvassa osuudessa kuin hiukkasissa, tosin



Kuva 1. Yhteenveto PAREMPI-hankkeessa mitatuista prekursori- ja PM_{aged} -päästöistä. Siniset palkit ovat PAREMPI-tuloksia (virherajat edustavat toistoja ja eri lämpötiloja). Keltaiset palkit ovat referenssiarvoja, joiden viitteet on esitetty PAREMPI raportissa D5.3.

karsinogeenisemmat PAH:t esiintyivät pääasiassa hiukkasissa. PAH-päästöt olivat matalia uusilla ajoneuvoilla, mutta oksi- ja nitro-PAH:ja löytyi myös uusien dieselteknikoiden päästöistä. PAH:t eivät sisälly pakokaasumääräyksiin.

Pakokaasun toksikologisten vaikutusten tutkimuksessa havaittiin yleisesti matala sytotoksisuustaso, mutta myös muun muassa kohonnuttu oksidatiivista stressiä ja DNA-vaurioita. Sytotoksisuustulokset osoittivat ajoneuvo- ja lämpötilariippuvuuksia henkilöautoilla. Yhdessä rekan toimintahäiriön sisältävässä mittauksessa havaittiin viitteitä sytotoksisuudesta ja DNA-vaurioista. Muutoksia havaittiin esimerkiksi yhdellä lentopolttoaineista ja meriliikenteen osiosta NH_3 :n lisäyksellä pakokaasuun. Toksisuuteen voivat vaikuttaa muun muassa VOC-yhdisteet, <10 nm hiukkaset ja PAH:t.

Jarrupölypäästöihin vaikuttivat jarrupalatyypit ja jarrutus-tilanne. Noin 30–50 prosenttia PM_{10} -päästöistä oli $\text{PM}_{2.5}$ -koluokassa ja pienempiä (UFP) hiukkasia muodostui kovassa jarrutuksessa. Jarrupöly koostuu pääosin rautaoksidoista, jotka absorboivat IR-alueella ja vaikuttavat mitattuun mustahiileen tieliikenteessä.

Sekundäärimittaukset kenttäolosuhteissa

PAREMPI-hankkeessa ehdotettiin kenttämittauksiin sopivaa PM_{aged} mittausjärjestelyä, jonka keskeiset osat ovat kannettava hapetusvirtausreaktori (OFR), laimennus sekä hiukkaskokojakauman ja kaasujen (NO_x , NH_3 , SO_2 , VOC, CO_2 , CO) mittaus. Kannettavia FTIR- ja OFR-laitteita (esim. DOFR) on jo saatavilla. Ehdotuksessa PM_{aged} ehdotettiin määritettäväksi hiukkaskokojakauman perusteella (tavanomaisesti AMS- ja mustahiililaitteilla) ja päästön yksiköksi suositeltiin massa per megajoule (voidaan laskea CO_2 :sta ja polttoaineen

ominaisuuksista). Hankkeen jälkeen on tarpeen sopia vielä suositeltavat OFR:n asetukset (esim. virtausnopeus, laimennus, hapetusaste) ja mittalaitteiden vaatimukset, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia eri tutkimusten kesken. Tämän järjestelmän lisäksi toksisuustutkimuksiin kehitetyn kannettavan ALI-altistusjärjestelmän (toxicity incubator) käyttö kaikissa mittausjaksoissa, myös maantieteolosuhteissa rekoilla, oli merkittävä edistysaskel.

Tuloksista tietokannaksi

PAREMPI-tietokanta kokosi liikennevälineiden päästökeruimet (per MJ) SecA muodostavista prekursorikaasuista, ikääntyneistä hiukkasista koostumuksineen ja toksisuudesta. Mukana on yksittäisten liikennevälineiden tuloksia, mutta ei sekoittuneita päästöjä, kuten tunnelimittauksia. Ensivaiheessa tietokanta perustuu kirjallisuuteen, mutta päivittyy piakkoin esitellyillä mittaustuloksilla. Tietokannan kokoamisen haasteita olivat vaikuttavien parametrien moninaisuus, puutteelliset mittauskuvaukset, epäyhtenäiset esitystavat ja yksikömuodot. Tämä korostaa tarvetta sekundääristen päästöjen standardoiduille raportointikäytännöille.

Kirjallisuudessa on niukasti tietoa SecA-päästöistä, erityisesti raskaan kaluston, laivojen ja lentokoneiden osalta. Kevyestä kalustosta löytyi 79 tietuetta, raskaasta 28, lentoliikenteestä 3, ja meriliikenteestä ei lainkaan julkaisuja. Tietokannan tutkimukset vanhoilla dieselmoottoreilla ja ajoneuvoilla tuovat perspektiiviä siihen, kuinka korkeita niiden päästöt ovat verrattuna moderneihin ajoneuvoihin. Kirjallisuudesta ei löytynyt juurikaan tutkimuksia ikääntyneen PM:n toksisuudesta, mutta tietokantaan sisällytettiin 85 tietuetta pakokaasun PM-toksisuudesta. Tietokannan käytettävyyden ja



Kuva 2. PAREMPI-projektin mittaukset autoilla, rekoilla, lentopolttoaineilla ja meripolttoaineilla sekä jarrupölymittaukset (VTT).

tulosten vertailtavuuden parantamiseksi PAREMPI kehitti puolikvantitatiivisen toksisuusluokittelun, jossa pisteytetään seuraavat luokat asteikolla 0–5: C: sytotoksisuus (solujen elinkyky); G: genotoksisuus (DNA-vauriot); O: oksidatiivinen stressi; D: muut vaikutukset (esim. immuunivaste, epiteelivauriot).

Ilmanlaatuvaikutukset

PAREMPI-hankkeessa kehitetään uutta digitaalista päästöindeksimoduulia, ePMI (equivalent Particle Mass Index), joka arvioi primääristen ja sekundääristen aerosolihiukasten lukumäärää ja massaa erityisesti liikennesektorin lähteistä. Kehitetty ePMI kytkeytyy globaaleihin ja alueellisiin malleihin kuten TM5 ja EC-Earth3, ja perustuu edistyneeseen M7-aerosolidynamiikkaan. Se käyttää yksinkertaistettuja parametreja (esim. NO_x , O_3 , OH, H_2SO_4 , VOC-seokset, NH_3 , lämpötila) sekä uutta NH_3 - H_2SO_4 -pohjaista hiukkasmuodostuksen taulukkoa (NPF).

Hankkeessa mallinnettiin liikenteen päästöjen vaikutusta ilmanlaatuun Euroopassa ja havaittiin laivaliikenteen vaikuttavan merkittävästi UFP-tasoihin rannikkoalueilla (2018 data). Tie- ja laivaliikenteen päästöt lisäävät NO_x -tasoja, mikä puolestaan vaikuttaa otsoni- ja $\text{PM}_{2.5}$ -pitoisuuksiin. Suurin osa $\text{PM}_{2.5}$ -massasta tieläisillä koostuu nitraattihiukkasista (NO_x :n ja NH_3 :n reaktiot), kun taas mustahiili, orgaaninen aine ja non-exhaust-päästöt muodostivat pienemmän osuuden. Tiepäästöjen vaikutus mallinnettuun sekundääriseen orgaaniseen ainekseen oli vähäinen tai negatiivinen, koska NO_x ehkäisee VOC-yhdisteiden hapettumista. Tosin helteiden aikana tiepäästöjen vähentäminen voisi hillitä vaarallisia otsonitasoja, kun VOC-päästöt ovat korkeita ja otsonin muodostus NO_x -riippuvaista.

PAREMPI on edistänyt sekundäärisen orgaanisen aineksen muodostumismekanismin ymmärtämistä (esim. RO_2 -autohapettuminen), mutta monien yhdisteiden osalta realistiset hapettumismekanismit puuttuvat ja niiden kehittäminen on tärkeää mallinnuksen mahdollistamiseksi vaihtelevissa NO_x - ja lämpötilaolosuhteissa.

Terveysvaikutukset ja ulkoiset kustannukset

Lundin yliopisto arvioi hankkeessa kuolleisuutta ja sairastavuutta, jotka johtuvat väestön altistumisesta $\text{PM}_{2.5}$ -hiukkas-massalle, sekä näihin liittyviä ulkoisia kustannuksia. Arvioinnit perustuvat uusimpiin toksikologisiin ja epidemiologisiin tutkimuksiin. Terveysvaikutustutkimuksessa esimerkiksi ennenaikaiset kuolemat ja sairaalahoitojaksot yhdistetään

altistumistasoihin, väestötietoihin, taustaterveystilastoihin jaal-tistus-vaste -funktioihin. Ulkoiset kustannukset muunnettiin rahaksi käyttäen tilastollisen elämän arvoa (VSL) ja elinvuo-den arvoa (VOLY). Tässä käytettiin vuoden 2018 pienhiukkas-pitoisuuksia ($\text{PM}_{2.5}$) yhdistettynä Eurostatin väestöruutuihin (1 km^2) paikkatieto-järjestelmällä.

Vaikka $\text{PM}_{2.5}$:n yhteys kuolleisuuteen on vahva, yksittäisten nitraatti-, sulfaatti-, ja ammoniumkomponenttien vaikutuk-sista on ristiriitaista näyttöä, eikä näiden käyttöä suositella. Siten PAREMPI-projektissa käytettiin WHO:n (2021) oh-jeistuksen mukaista riskierrointa. Arvioissa hyödynnettiin EU-27 -maakohaisia ikävakioituja kuolleisuus- ja sairasta-vuustietoja sekä EU:n standardiarvoja ulkoisten kustannus-ten laskennassa. Tämä arviointitapa mahdollistaa vertailta-vuuden maiden välillä, mutta ei huomioi kansallisia eroja esimerkiksi taloudessa ja terveydenhuollon kustannuksissa. Hankkeen laskelmien mukaan $\text{PM}_{2.5}$ -hiukasten aiheuttamat yhteiskunnalliset kustannukset EU:ssa ovat noin 367 miljardia euroa vuodessa. Vaikka arvioihin liittyy epävarmuuksia, ne korostavat tarvetta kustannustehokkaille päästövähennystoi-mille.

Sekundääristen aerosolipäästöjen vähentäminen

Liikenteen sekundääristen aerosolipäästöjen vähentäminen vaatii kokonaisvaltaista lähestymistapaa, jossa yhdistyvät politiikka, sääntely ja teknologia. Henkilöautojen sähköistyminen etenee, mutta raskas liikenne ja meriliikenne säilyvät pitkään polttomoottorikäyttöisinä. Meri- ja lentoliikenteessä päästöjen vähentämispotentiaali on merkittävä. Sekundää-risten aerosolien muodostumisen ehkäisy liikennesektorilla edellyttää monitahoisia toimenpiteitä, kuten:

- Moottorien ja turbiinien palamisteknologioiden sekä pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmien edelleen kehittäminen, erityisesti PHEV-autoissa (nopeat siirtymät akuista polttomoottorikäyttöön).
- NO_x -päästöjä vähentävän SCR-pakokaasujen jälkikäsittely-teknikan laajamittainen käyttö meriliikenteessä sekä van-hojen dieselajoneuvojen NO_x -vähennystekniikat.
- Polttoaineiden aromaattien rajoittaminen. Meri- ja lentopolt-toaineiden rikkipitoisuuden rajoittaminen. Meriliikenteen puhtaiden polttoaineiden, kuten metaani ja metanoli, suosi-minen. SAF-lentopolttoaineiden käyttö lentoliikenteessä.
- Voiteluöljyn rikkipitoisuuden vähentäminen.

Merkityksellisiä keinoja ovat myös tiukemmat päästöstan-dardit, valvonta ja vaatimukset:

- Päästöjen raja-arvojen tiukentaminen erityisesti meri- ja lentoliikenteessä. NH_3 -päästöjen rajoittaminen kaikilla lii-kennesektoreilla. Tiukemmat raja-arvot edistävät uusien teknologioiden kehitystä ja käyttöönottoa.
- PM_{aged} kenttämittausjärjestelmän käyttö ikääntyneen hiuk-kaspäästön valvontaan ja torjuntatoimien arviointiin. Täl-löin tarvitaan myös yhtenäiset mittausprotokollat tulosten vertailtavuuden parantamiseksi.

Edellä mainittujen toimenpiteiden lisäksi vähäpäästöisen liikenteen tukeminen on tarpeen (sähköistyminen, pyöräily, joukkoliikenne). Kaupunki- ja liikennesuunnittelulla voi parantaa ilmanlaatua paikallisesti, esim. määrittää alhais-ten päästöjen alueita, asettaa ruuhkamaksuja ja optimoida liikennevirtoja. Maatalouden NH_3 -päästön vähentämisen yhdessä liikenteen NO_x -päästöjen vähennyksen kanssa tuo synergiaetua. Nämä toimenpiteet tukevat myös kansanter-veyttä ja parantavat elämänlaatua. PAREMPI-projektissa jatketaan joulukuun loppuun asti liikenteen sekundäärisiä aerosolipäästöjä vähentävien toimenpiteiden tunnistamista.

PAREMPI-hankkeen julkaisut

- Aakko-Saksa et al. Transport sectors' real-world emissions: from gaseous precursors to secondary aerosol formation in urban air, Proceedings of the 10th Transport Research Arena (TRA) Conference, Volume 4: Clean Energy Transition, Dublin, Ireland, 2024. DOI 10.1007/978-3-031-95284-5
- Svenhag et al. Implementing detailed nucleation predic-tions in the Earth system model EC-Earth3.3.4: sulfuric acid–ammonia nucleation, Geosci. Model Dev., 17, 4923–4942, 2024. DOI 10.5194/gmd-17-4923-2024
- Harni et al. Measured and modelled air quality related ef-fects of a noise barrier near a busy highway, EGUsphere [preprint], 2025. DOI 10.5194/egusphere-2025-1423.
- Roldin et al. Primary and secondary aerosol formation from real vehicle exhausts, Proceedings of the 25th interna-tional transport & air pollution (TAP) and the 3rd shipping & environment (S&E) conferences. DOI 10.2760/564701
- Simon, L. et al. From real-driving emissions to urban air quality: composition of aged PM from modern diesel, ga-soline, and CNG fueled cars and plug-in hybrid electric ve-hicles, under review in Atmospheric Environment X, 2025.
- Vojtisek-Lom et al. Portable emissions toxicity system: Eva-luating the toxicity of emissions or polluted air by expos-ure of cell cultures at air-liquid interface in a compact field-deployable setup. Michal Vojtisek-Lom et al. Science of the Total Environment. 959 (2025) 178010. DOI 10.1016/j.scitotenv.2024.178010

PAREMPI-hankkeen julkiset raportit

- PAREMPI D2.2 Measurement results of emissions, second-ary aerosol forming potential and methodology. Rönkkö, T. et al. 2025.
- PAREMPI D2.3 Evaluation of robust measurement meth-ods for estimating secondary aerosol mass. Aakko-Saksa, P. et al. 2025.

Johtopäätökset

PAREMPI-tulokset osoittavat, että ikääntyneillä hiukkasilla on merkittävä vaikutus ilmanlaatuun ja terveyteen. Monia vähennystoimenpiteitä tunnistettiin, ja nähtiin tarve inte-groiduille ratkaisuille, sillä yksi teknologia ei sovi kaikille liikenteen sektoreille. Tuloksin haasteena oli aiempien tutkimusten vähäisyys, sillä vain harvat tutkimukset ovat yh-distäneet ikääntyneiden hiukkasten kemiallisen koostumuk-sen määrittämisen ja toksisuustutkimuksen. Lisäksi käytetyt tutkimusmenetelmät vaihtelevat tutkimusten välillä. Lisätut-kimusta tarvitaan erityisesti liikenteen uusien moottori- ja polttoainetekniikoiden vaikutuksista todellisissa olosuhteis-sa käyttäen yhtenäisiä mittausasetuksia. ■

Hankkeen päätöstahtuma järjestetään joulukuussa, ja siitä saa lisätietoa osoitteesta: <https://parempi.eu/save-the-date-parempi-second-policy-recommendations-workshop/>

Hankkeessa mukana olleet tutkijat selviävät hankkeen verkkosi-vuilta <https://parempi.eu>.

Tämä työ on saanut rahoitusta Euroopan unionin Horizon Europe -tutkimus- ja innovaatio-ohjelmasta.



KUVA: ETIENNE GIRARDET / UNSPLASH

KUVA: WU YI / UNSPLASH

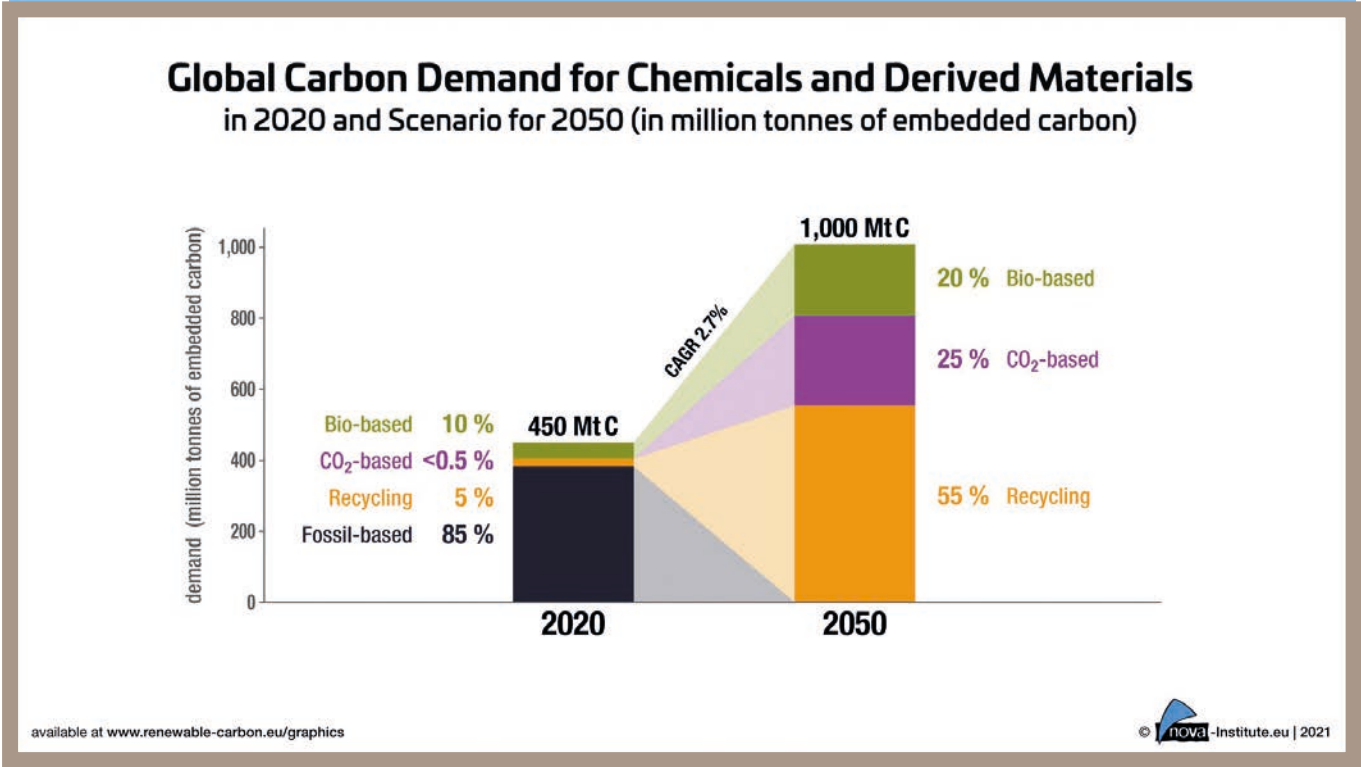
Forest CUMP: Suomen metsäteollisuuden HIILIDIOKSIDISTA MUOVIN RAAKA-AINETTA?

Suomella on suuri potentiaali olla suurvalta biopohjaisen hiilidioksidin talteenotossa ja hyötykäytössä. Metsäteollisuuden pistemäiset lähteet tarjoavat suuressa mittakaavassa hiilidioksidia, jota voisi yhdessä vihreän vedyn kanssa käyttää erilaisten tulevaisuuden uusiutuvien tuotteiden valmistamiseen. Forest CUMP -projektissa keskityttiin tutkimaan Fischer-Tropsch -synteesireitin mahdollisuuksia muovin tuottamisessa.

Juha Lehtonen, tutkimusprofessori, VTT
Niko Heikkinen, erikoistutkija, VTT

Hiili on yksi tärkeimmistä alkuaineista jokapäiväisissä tuotteissa. Kuvan 1 mukaisesti, Euroopassa vuonna 2020, kemikaalit ja kemikaalien johdannaisuotteet valmistettiin suurimmalta osin (88 %) fossiilisesta hiilestä. Loppuosan raaka-aineina olivat kierrätetyt materiaalit (4 %), biopohjaiset lähtöaineet (8 %) ja hiilidioksidi (0,03 %). Ennusteiden mukaan hiilen käyttö lisääntyy

2,5 prosentin vuosivauhdilla. Kun samaan aikaan fossiilisen hiilen käytöstä luovutaan, arvioidaan vuoden 2050 orgaaniset kemiantuotteet tuotettavan kierrätetystä hiilestä (55 %), biopohjaisista lähteistä (20 %) ja hiilidioksidista (25 %). Näiden lukujen perusteella hiilidioksidi hiilen lähteenä näyttää erittäin potentiaaliselta. Suomen näkökulmasta asetelma on vieläkin mielenkiintoisempi: Suomessa on varsin kattava verkosto suuria pistemäisiä biopohjaisia hiilidioksidin lähteitä, yhteisvolymiltaan yli 30 miljoonaa tonnia vuodessa.



Kuva 1. Hiilentarve kemikaaleihin ja jatkojalosteisiin vuodesta 2020 vuoteen 2050 (Nova Institute, 2023).

Esimerkiksi metsäteollisuuden tuottama hiilidioksidi on käytännössä kokonaan biopohjaista ja tyypillisesti suurista pistelähteistä peräisin. Tämän kaltaisia pistemäisiä hiilidioksidilähteitä isossa mittakaavassa on vaikea löytää pohjoismaiden ulkopuolelta. Pistemäisten lähteiden positiivinen puoli on se, että hiilidioksidia saadaan kaapattua suuria määriä yksittäiseltä tehdasalueelta. Metsäteollisuuden lähteistä muun muassa soodakattilat ja meesauunit ovat merkittäviä pistelähteitä, joista hiilidioksidia voitaisiin tulevaisuudessa ottaa talteen kannattavasti. Metsäteollisuuden lisäksi jätteenpolttolaitokset ovat pistemäisiä hiilidioksidin lähteitä, joiden hiilidioksidipäästöistä karkeasti puolet on biopohjaista.

Hiilidioksidin talteenoton ja hyötykäytön (carbon capture and utilization, CCU) menetelmillä voidaan tuottaa monenlaisia tuotteita, joista polttoaineet (e-polttoaineet) ovat EU-sääntelyn vuoksi ajankohtaisimpia. Orgaanisia kemikaaleja ja polymeerejä tuotettaessa hiili voitaisiin kuitenkin sitoa tuotteisiin huomattavasti pitemmäksi aikaa kuin polttoaineisiin. Maaliskuussa 2025 päättynyt Business Finlandin rahoittama Forest CUMP -projekti selvitti mahdollisuuksia tuottaa kaapatusta hiilidioksidista polypropeenin ja polyeteeniä. Mukana tutkimushankkeessa olivat alan merkittävät toimijat Borealis ja Neste. Lisäksi mukana projektissa olivat Vantaan Energia, Kemira, Fortum, Essity, ABB, Stora Enso, ja Metsä Spring Oy.

Reitit hiilidioksidista muoviksi

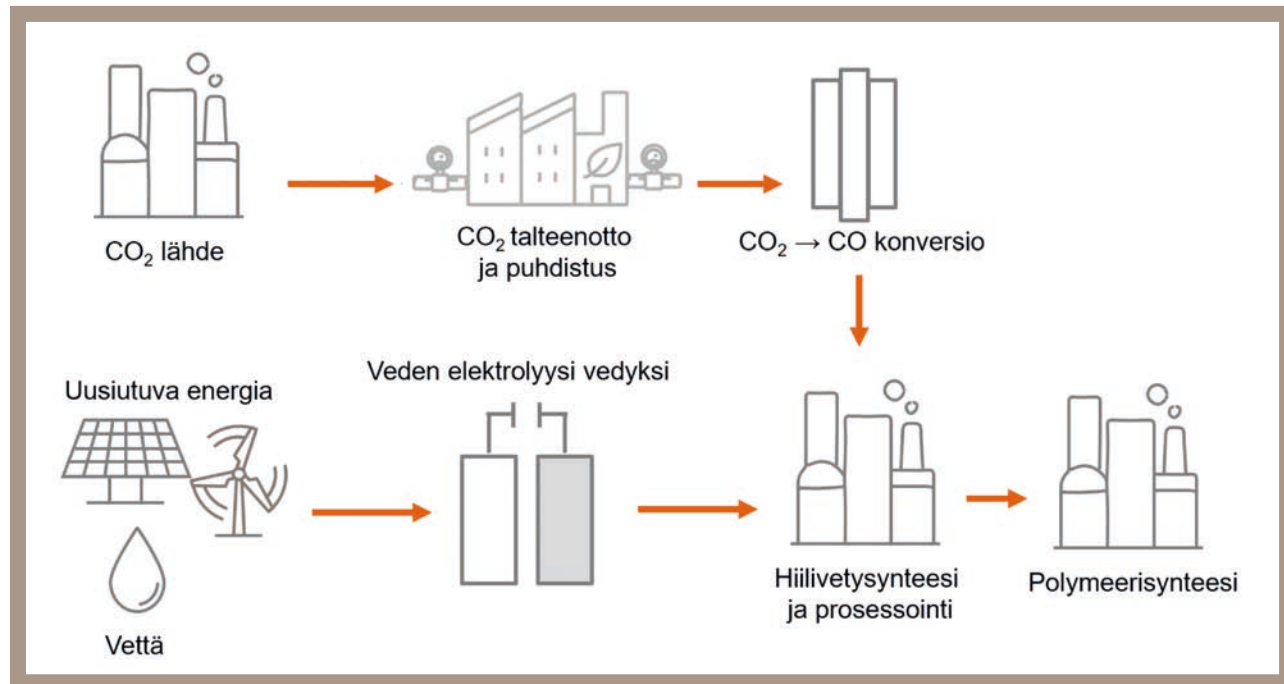
Hiilidioksidista voidaan tuottaa muoveja eri reittejä, joista teknologisesti valmiimpia suuren mittakaavan toteutuksiin ovat metanolireitti (Methanol-to-Olefins, MTO) ja Fischer-Tropsch -synteesillä tuotettujen hiilivetyjen reitti. Metanolireitissä tuotetaan ensin hiilidioksidista ja vihreästä vedystä e-metanolia, ja sitten metanolista MTO-teknologialla polyolefinimuovien raaka-aineita eli eteeniä ja propeenin. Fischer-Tropsch -synteesi taas on katalyyttinen menetelmä, jossa synteesikaasu (häkä ja vety) reagoi eri pituisiksi hiilivedyiksi. Kun hiilidioksidi on lähtöaineena, se pitää ensin

konvertoida hiilimonoksidiksi, esimerkiksi käyttäen käänteistä vesikaasun siirtoreaktiota.

Kuva 2 esittää yleisesti hiilidioksidin muuttamisen vaiheet polymeerituotteiksi. Alkuvaiheen prosessit molemmille reiteille ovat käytännössä samat, hiilidioksidi tulee ottaa talteen, puhdistaa ja kompressoitua. Uusiutuvan vedyn valmistamiseen tarvitaan uusiutuvaa sähköä, jolla saadaan elektrolyysin avulla vetyä vedestä. Sekä metanolin että Fischer-Tropsch -reittien osalta ensimmäinen vaihe on tuottaa alkeeneja, jotka toimivat polymeerisynteesin lähtöaineena (monomeerit). Alkeenien, kuten eteenin ja propeenin polymerointi tuottaa muovituotteet polyeteenin (PE) ja polypropeenin (PP).

Hiilidioksidin talteenotto ja puhdistus teollisuuden pistelähteistä on sinänsä tunnettua teknologiaa – esimerkiksi amiiniprosessia hyödynnettäessä. Suomessa on kehitteillä myös amiiniprosessia ympäristöystävällisempiä, vähemmän haitallisia kemikaaleja käyttäviä teknologioita. Näitä teknologioita kehittävät esimerkiksi Carbonreuse Finland Oy ja Ekotuhka Oy. Talteen otetun ja puhdistetun hiilidioksiditonin hinnan on yleisesti arvioitu olevan noin sata euroa. Orgaanisten kemikaalien ja polymeerien tuottamiseen tarvitaan hiilidioksidia yleensä 2–5 tonnia yhtä tuotetunna kohden.

Suurimpana haasteena monelle CCU-reitille on valtava uusiutuvan vedyn tarve. Tästä syystä suurin osa orgaanisten CCU-tuotteiden kustannuksista tulee vihreän vedyn tuotannosta. Vihreää vetyä tuotetaan hajottamalla vettä elektrolyytisesti vedyksi ja hapeksi. Tähän prosessiin vaaditaan suuria määriä uusiutuvaa sähköä. On arvioitu, että kaikkien metsäteollisuuden hiilidioksidipäästöjen (n. 22 miljoonaa tonnia vuodessa) konvertointi CCU-tuotteiksi vaatisi noin kaksinkertaisesti Suomen tämänhetkisen sähköntuotannon. Suomella on kuitenkin paljon potentiaalia olla merkittävä tuulisähkön ja vihreän vedyn tuottaja. Erityisesti Pohjanlahden rannikko on suotuisaa tuulisähkön tuotantoaluetta. Huomattavien vihreän vedyn tuotantomäärien toteutumisen vaatisi kuitenkin merkittäviä investointeja sekä valtiovalan panostusta vedyn ja energian infrastruktuuriin.



Kuva 2. Hiilidioksidin reitti uusiutuviksi polymeerituotteiksi.

Fischer-Tropsch -synteesireitti

Forest CUMP -projektissa keskityttiin Fischer-Tropsch -synteesireittiin. Tämän synteesin kautta valmistettujen hiilivetyjen positiivinen puoli on, että hiilivedyt muistuttavat läheisesti fossiilisen raakaöljyn hiilivetyjä, jolloin voidaan käyttää hyväksi olemassa olevia jatkokäsittelyprosesseja. Jatkokäsittelyprosessit, kuten tislauk ja erotusprosessit, ovat erittäin kalliita ja pitkäikäisiä investointeja. Tämän vuoksi Fischer-Tropsch -hiilivedyt ovat hyvä vaihtoehto korvaamaan fossiilisia hiilivetylähteitä ja hyödyntämään olemassa olevaa öljynjalostamojen ja petrokemianlaitosten infrastruktuuria. Haasteena Fischer-Tropsch -synteesissä on suhteellisen kallis investointikustannus, mutta itse hiilivetytuote on korkealaatuista. Kun mietitään metanolireittiä, investointikustannukset itse metanolisynteesilaitokselle ovat huomattavasti maltillisemmat, mutta tuote (metanoli) vaatii kalliit erotus- ja puhdistusprosessit. Erotus- ja puhdistusprosessien lisäksi tarvitaan vielä metanolin konversio olefiineiksi. Metanoli-olefiinikonversion jälkeen tarvitaan edelleen erotusprosessi haluttujen hiilivetyjen saattamiseksi polymeerisynteesiin.

Fischer-Tropsch -synteesi voidaan jakaa karkeasti kahteen kategoriaan, korkean (250–300 °C) ja matalan (200–220 °C) lämpötilan prosesseihin. Erona prosesseissa on saatu hiilivetytuote. Matalan lämpötilan prosessi tuottaa pääasiassa alkaanipitoista, raskasta hiilivetyä, kun taas korkean lämpötilan synteesi tuottaa alkaanien lisäksi merkittävän määrän olefiineja (alkeneja). Suhteellisen suuren olefiinisaannin lisäksi korkean lämpötilan synteesi tuottaa pääasiassa kevyitä hiilivetyjä, eikä juurikaan vahamaisia hiilivetyjä. Forest CUMP -projektissa tutkittiin molempien Fischer-Tropsch -reittien hyvät ja huonot puolet. Tavoitteena oli valmistaa eteeniä ja propeenaa polymeerisynteesiä varten. Kahdesta reitistä teknisesti valmiimmaksi osoittautui matalan lämpötilan reitti, missä tuotetaan kevyitä nestemäisiä hiilivetyjä; tai toiselta nimeltään naftaa. Nafta on tänäkin päivänä syötteenä petrokemian laitoksilla ja Fischer-Tropsch -nafta soveltuu varsin hyvin korvaamaan fossiilista naftaa.

Polyolefiinituotteet eli polyeteeni ja polypropeeni syntyvät naftasta höyrykrakkerin kautta. Höyrykrakkeriin syötetään naftaa ja tuotteena saadaan olefiineja, jotka ovat polyeteenin ja polypropeenin raaka-aineet (eteeniä ja propeenaa). Korkean lämpötilan Fischer-Tropsch -synteesi todettiin projektissa teknisesti haastavammaksi ja syntyneiden hiilivetytuotteiden erotus haastavaksi. Vaikka korkean lämpötilan synteesissä syntyy merkittävä määrä (40–50 massa-%) haluttuja kevyitä olefiineja, on nämä olefiinit erotettava alkaaneista ennen polymeerisynteesiä. Esimerkiksi halutun eteenin erottaminen etaanista vaatii varsin kalliita erotusprosesseja (esim. kryogeeninen erotus). Kryogeeniset erotukset ovat käytettävissä jalostamoilla ja petrokemian laitoksilla, mutta korkean lämpötilan synteesin hiilivetyjakauma on haastava sovitaa näihin prosesseihin. Pienikin hiilivetyjakauman muutos voi aiheuttaa suuria muutoksia erotus- ja tislauksprosessien olosuhteisiin ja mitoituskeinoihin.

Korkean lämpötilan Fischer-Tropsch -synteesireittiä voitaisiin karkeasti verrata metanolireittiin (MtO), koska kumpikaan tuote ei käy suoraan olemassa olevaan petrokemian prosessiin tai polymeerisynteesireittiin. Lisäksi molemmat reitit ovat teknisesti valmiita reittejä, mutta vaativat käytännössä alusta asti rakennetut laitokset. Alusta asti rakennetun laitoksen kustannukset alkavat miljardista eurosta, kun taas matalan lämpötilan Fischer-Tropsch -tuotteet saadaan sovitettua olemassa olevaan laitekantaan kustannustehokkaasti.

Hiilidioksidin talteenotto ja hyötykäyttö kytkeytyy vahvasti meneillään olevaan keskusteluun energia- ja vetynfrastrukturista. Vaikka hiilidioksidin hyötykäytön teknologiat ovat jo olemassa, on eri teknologioita kehitettävä kustannustehokkaammaksi ja sovitettava erilaisille hiilidioksidilähteille. Suomella on kuitenkin valtava potentiaali tarjota merkittävä määrä pitkälle jalostettuja uusiutuvia tuotteita, joilla voi olla tulevaisuudessa merkittävä positiivinen vaikutus ilmastoon ja elinoloihin. ■

Lähteet:

Nova Institute, 2023, www.renewable-carbon.eu/graphics

Ilmanlaadun selvitykset, leviämismallinnukset ja päästöjen hallintasuunnitelmat



ENVINEER

www.envineer.fi

Dekati®

Oxidation Flow Reactor DOFR™



DEKATI® Oxidation Flow Reactor DOFR™

- Helppokäyttöinen läpivirtauskammio aerosolien ikäännyttämiseen
- Simuloi sekundääristen aerosolien muodostumisen alle minuutissa
- Erittäin pienet hiukcashäviöt

Lue lisää DOFR™:



► Dekati Oy on maailman johtava pienhiukkasmittalaitteiden kehittäjä ja valmistaja. Kaikki Dekatin tuotteet suunnitellaan ja valmistetaan Suomessa, ja ne ovat saatavilla jopa viiden vuoden takuulla.



Excellence in particle measurement

Dekati Oy Tykkitie 1, 36240 Kangasala Puh. +358 3 3578 100 Sähköposti: sales@dekati.com

www.dekati.com

Ohjepaketti TIEKULJETUSTEN PÄÄSTÖRAPORTOINTIIN

Kuljetusalan yrityksiltä edellytetään yhä useammin luotettavaa tietoa toiminnan ilmastovaikutuksista. Kasvihuonekaasupäästöjen laskentaa määrittelevä ISO-standardi ja EU:n tuleva sääntely luovat yhteisen kehyksen, mutta käytännön soveltamiseen tarvitaan selkeyttäviä ohjeita ja työkaluja. Traficomin tuottama uusi ohjeistus tarjoaa erityisesti pienille ja keskisuurille kuljetusyrityksille konkreettisen ja käytännönläheisen tuen päästölaskennan haltuunottoon.

Heidi Auvinen, johtava asiantuntija, Liikenne- ja viestintävirasto Traficom

Kuljetuspalveluista raportoitujen päästötietojen, eli hiilijalanjäljen, luotettavuutta ja vertailukelpoisuutta ovat pitkään varjostaneet päästölaskentamenetelmien laaja kirjo ja läpinäkyvyyden puute. Kasvihuonekaasupäästöjen laskentaan ja raportointiin on myös liittynyt oletuksia monimutkaisuudesta ja suuresta hallinnollisesta taakasta.

Standardi, sääntely ja asiakastarpeet

Viime vuosina laskentametodologioista on päästy parempaan yhteisymmärrykseen, ja vuonna 2023 julkaistiin ISO 14083 -standardi, joka määrittelee yleisen menetelmän matkustaja- ja tavaraliikenteen kuljetusketjujen kasvihuonekaasupäästöjen määrittelyyn ja raportointiin. Standardin käyttöönottoon kannustaa Euroopan komission antama CountEmissions EU -asetusehdotus, joka tavoittelee yhtenäisiä sääntöjä ja harmonisaatiota EU:ssa.

Päästölaskentaan liittyvät odotukset ja asenteet ovat muutoskäsityksessä. Kuljetuksia tilaavat asiakkaat edellyttävät kuljetusyrityksiltä yhä useammin päästötietoja muun muassa osaksi omaa vastuullisuusraportointiaan. Kallionpää ym. (2024) totesivat LOLIPOP-hankeessa kiinnostuksen päästöraportointia kohtaan kasvaneen myös Suomessa. Toisaalta tutkimuksessa ilmeni, että logistiikan päästöraportointi jakaa toimijoita: Osa yrityksistä hallitsee laskentamenetelmät ja jakaa päästötietojaan avoimesti, kun taas toisille raportointi on vielä täysin uutta tai sitä ei pidetä lainkaan tärkeänä.

Tehokkuutta ja kilpailukykyä päästötiedoilla

Tärkeä kannustin päästölaskennan edistämiseksi on viesti sen liiketoimintahyödyistä. Päästölaskenta tukee yrityksen oman toiminnan ja kannattavuuden kehittämistä: Koska päästölaskenta perustuu energiankulutuksen seurantaan, on se suoraan kytköksissä kuljetustoiminnan tehokkuuden seurantaan ja parantamiseen. Tieto kuljetusten hiilijalanjäljestä on myös kilpailutekijä, kun yhä useampi asiakas ja rahoittaja

edellyttää tietoa kuljetustoiminnan päästöistä. Päästölaskenta on lisäksi olennainen komponentti kalustoinvestointien vaikutusten ja kannattavuuden hahmottamisessa.

Skaalautuessaan yritysten tekemä päästölaskenta ja sen pohjalta toteutetut ilmastotoimet tukevat myös Suomen etenemistä kohti EU:n ilmastotavoitteita, kuten taakanjakosektorin velvoitetta vähentää päästöjä vähintään 50 prosenttia vuoteen 2030 mennessä (vuoden 2005 tasoon verrattuna).

Uusi ohje tiekuljetusten päästölaskentaan

Vaikka yleinen laskentamenetelmä on määritelty standardissa, sen käytännön soveltaminen on tunnistettu haasteeksi erityisesti pienissä ja keskisuurissa yrityksissä, joille aihepiiri on uusi. Kuljetusalan toimijoiden kanssa käytyjen sidosryhmäkeskustelujen kautta muotoutui suunnitelma tieliikenteen kuljetusten näkökulmiin keskittyvästä käytännönläheisestä ohjeistuksesta, jota Traficom lähti toteuttamaan Ilmastoratkaisujen vauhdittaja (ACE) -hankkeessa koordinoimassaan työkokonaisuudessa.

Traficomin tuottama päästöraportoinnin aineistopaketti sisältää yksityiskohtaisen ohje raportin (Ojala ym. 2025) lisäksi pikaohjeen, Excel-laskentapohjan sekä raportoinnin mallipohjan. Laskentaa ja laskentapohjan hyödyntämistä havainnollistetaan myös kolmen käytännönläheisen laskentaesimerkin avulla. Ohjepaketin tavoitteena on auttaa erityisesti pieniä ja keskisuuria yrityksiä päästöraportoinnin haltuunotossa, ja se on vapaasti saatavilla Traficomin verkkosivuilla (Traficom 2025). Ohjeisto rajautuu käsittelemään ainoastaan tieliikennettä ja päästölaskennan perustapauksia.

Päästöraportoinnin kuusi vaihetta

Päästölaskennan ja -raportoinnin prosessi rakentuu kuvan 1 mukaisesti kuudesta vaiheesta. Aluksi määritellään laskennan raja, eli mitkä kuljetukset halutaan huomioida, ja kerätään rajauksen mukaiset lähtötiedot energiankulutuksesta, tavaramäärästä ja matkapituuksista. Varsinainen laskenta

Kuljetusten kasvihuonekaasupäästöjen laskennan kuusi vaihetta



Kuva 1. Tieliikenteen kuljetusten kasvihuonekaasupäästöjen laskennan ja raportoinnin vaiheet.

koostuu kuljetussuoritteesta, eli tonnikilometrien, laskennasta sekä energiankulutukseen perustuvasta päästölaskennasta. Päästöt kohdennetaan kuljetussuoritteelle, ja kokonaispäästöistä voidaan myös osoittaa esimerkiksi yhden asiakkaan osuus asiakaskohtaiseen kuljetussuoritteeseen perustuen. Lopuksi raportoidaan sekä absoluuttinen päästömäärä että suhteelliset päästöt tonnikilometriä kohti.

Laskennan vaiheet ovat varsin johdonmukaisia ja periaatteiltaan loogisia. Yksinkertaisessa tapauksessa laskennan läpiviennin onkin hyvin suoraviivaista. Aiheeseen perehtyneet kuitenkin tietävät, että tilanne monimutkaistuu esimerkiksi, jos lähtötietojen keruussa on haasteita tai jos kuljetustoiminta perustuu vaihteleviin jakelureitteihin ja palvelee useita asiakkaita. Tällöin laskenta vaatii syvällisempää pohjatusta ja edellyttää tapauskohtaisten valintojen ja päätösten tekemistä laskentametodologiassa.

Mitä seuraavaksi?

Työ kuljetusten päästölaskennan edistämiseksi jatkuu erilaisissa hankkeissa, ja esimerkiksi päästökertoimiin liittyviä pulmia ratkotaan parhaillaan sekä kotimaisissa että EU-tutkimusprojekteissa. Oma haasteensa ovat monimutkaiset kuljetusketjut, joihin liittyen muun muassa Mikkola ym. (2025) ovat selvittäneet sähköisten rahtikirjojen hyödyntämistä päästölaskennassa. CountEmissions EU -asetusehdotus on kesällä 2025 edennyt kolmikantaneuvotteluihin ja on siten todennäköisesti matkalla kohti voimaantuloa.

Tutkimuksen ja lainsäädännön rinnalla tarvitaan myös laajempaa eri tahojen välistä yhteistyötä päästölaskennan käytäntöön viemiseksi. Ohjeistukset ja laajeneva koulutustarjonta tukevat osaamisen kasvua, ja digitaaliset ratkaisut helpottavat tiedonkeruuta ja laskentaa. Ratkaisevassa asemassa ovat lopulta kuitenkin kuljetusyritykset, sillä heidän sitoutumisensa ratkaisee, juurttuuko päästölaskenta osaksi arjen toimintaa. ■

Lähteet

- Kallionpää, E. ym. 2024. Logistiikkaan liiketoiminta- ja päästövähennyspotentiaalia päästöraportoinnilla. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2024:21. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/165656/VNTEAS_2024_21.pdf
- Mikkola M., ym. 2025. Vihreän siirtymän ja digitalisaation edistäminen Itämeren alueen kuljetuskäytävällä. Sähköiset rahtikirjat päästölaskennassa. Traficomin tutkimuksia ja selvityksiä 3/2025. <https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/publication/Vihre%C3%A4n%20siirtym%C3%A4n%20ja%20digitalisaation%20edist%C3%A4minen%20It%C3%A4meren%20kuljetusk%C3%A4yt%C3%A4v%C3%A4ll%C3%A4%20v1.1.pdf>
- Ojala, K. ym. 2025. Päästölaskentaohjeistus tieliikenteen kuljetusten päästöjen arvioimiseksi Suomessa. Traficom julkaisu 13/2025. <https://traficom.fi/fi/julkaisut/paastolaskentaohjeistus-tieliikenteen-kuljetusten-paastojen-arvioimiseksi-suomessa>
- Traficom 2025. Ilmastoratkaisujen vauhdittaja ACE hanke – Vähäpäästöinen raskas liikenne [verkkosivusto] <https://traficom.fi/fi/ace-hanke>

AGGLOMERAATIOKAMMION SUUNNITTELEMINEN nanahiukkasten kemiallisen koostumuksen analysointiin

Nanahiukkasten kemiallisen koostumuksen analysointiin ei ole vielä olemassa ratkaisua, joka pystyisi mittaamaan laajan määrän yhdisteitä reaaliajassa. Aerosolimassaspektrometri (AMS) on yksi yleisimmistä kemiallisen koostumuksen analysaattoreista ja sen mittaussyky on todella huono nanahiukkasten ollessa kyseessä. Diplomityössäni kehitin laitetta, jonka avulla AMS:n mittausaluetta saataisiin laajennettua nanohiukkasiin. Työ pyrkii parantaa nanohiukkasten kemiallisen koostumuksen analysointia jatkokehittämällä SPAI-menetelmää, ja keskittyy laitteen parametrien optimointiin.

Ukko-Ville Mäkinen, tutkija, Tampereen yliopisto

Aerosolien terveys- ja ilmastovaikutusten kannalta tärkeimpiä ominaisuuksia ovat niiden hiukkaskoko ja kemiallinen koostumus. Ultrapienet hiukkaset (< 100 nm) ja etenkin nanohiukkaset (< 50 nm) kykenevät kokonsa puolesta kulkeutumaan keuhkoihin ja keuhkoista muihin tärkeisiin elimiin aiheuttaen vakavia terveysvaikutuksia (Schraufnagel 2020).

Hiukkasten kemiallisella koostumuksella on suuri merkitys niiden terveysvaikutuksiin. Hiukkasten terveysvaikutukset ovat vakavampia, jos hiukkanen koostuu myrkyllisestä materiaalista, kuten lyijystä tai polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä (PAH) (Schraufnagel et al., 2019). Kun yhdistetään myrkyllisestä materiaalista koostuva hiukkanen pienen hiukkaskokoon, voi yhteisvaikutus olla merkittävä. Hiukkasten kemiallisella koostumuksella on myös ympäristövaikutuksia, sillä musta hiili absorboi auringon säteilyä lämmittäen ilmakehää (Booth ja Bellouin 2015).

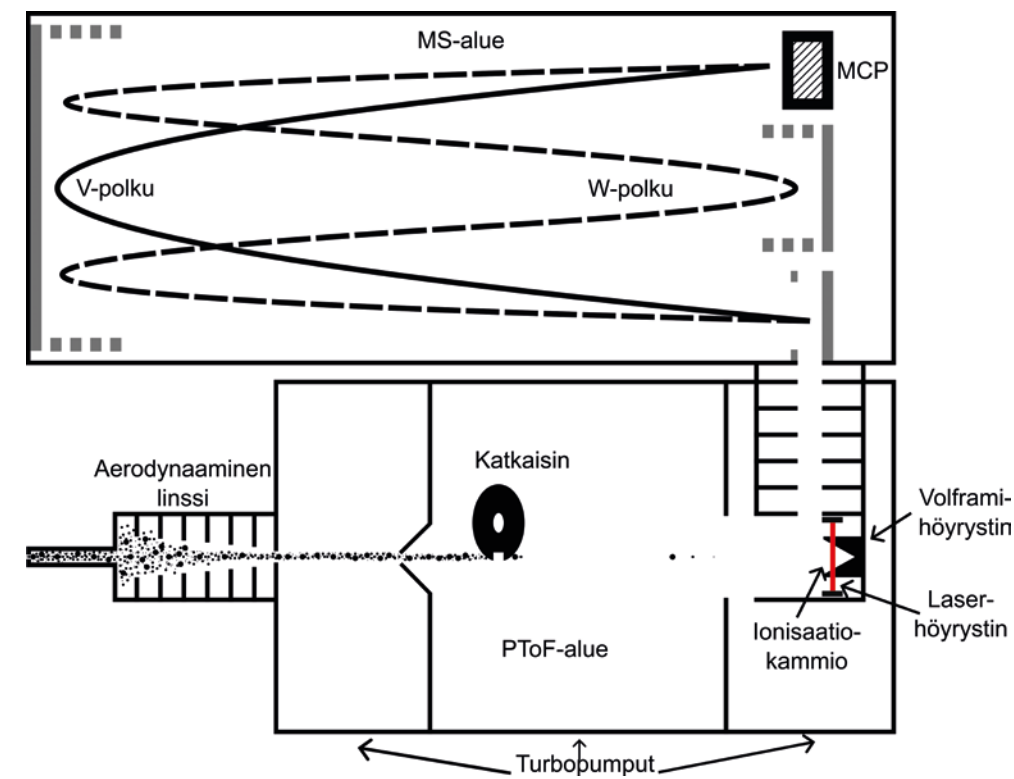
Aerosolihiukkasten kemiallisen koostumuksen reaaliaikaiseen mittaamiseen on kehitetty aerosolimassaspektrometri (AMS, DeCarlo et al., 2006), joka pystyy määrittämään kuumuutta kestävämmien hiukkasten kemiallisen koostumuksen. Laitteeseen on saatavilla myös nokihiukkaskammiot, jonka avulla voidaan havaita myös kuumuudenkestäviä aineita (SP-AMS, Onasch et al., 2012). SP-AMS:n osat on esitelty kuvassa 1.

AMS:n sisääntulossa on aerodynaaminen linssi, joka tuottaa kapean hiukkassuihkun, joka etenee tyhjiössä olevaan

mittalaitteeseen, jossa se kohtaa katkaisimen ennen höyrystymistä kuumalla (600 °C) volframialustalla (DeCarlo et al., 2006). SP-AMS:ssa on lisäksi laserhöyrystin, jolla voidaan höyrystää laserin aallonpituutta (1064 nm) absorboivia aineita, kuten mustaa hiiltä ja joitakin metalleja. Myös näiden materiaalien pinnalla olevat yhdisteet höyrystyvät korkeassa lämpötilassa (~4000 °C mustalle hiilelle), jolloin voidaan havaita myös aineita, jotka eivät absorboi laserin aallonpituutta. (Onasch et al., 2012.)

Höyrystyneet hiukkaset ionisoidaan elektroni-ionisaatiolla, jonka jälkeen ionit viedään massaspektrikammioon, jossa niiden massa-varausuhde mitataan lentoajan perusteella. Katkaisinta käytetään valikoimaan näytteessä olevat hiukkaset ja kaasut (auki) tai näytteessä olevat kaasut ja laitteen sisältä tulevat yhdisteet (kiinni). Näiden signaalien erotuksesta voidaan laskea näytteen hiukkasista aiheutuva signaali. Katkaisinta voidaan myös pyörittää, jolloin laitteeseen pääsee ajoittain hiukkasia, ja niiden koko voidaan määrittää (PToF). (DeCarlo et al., 2006.)

AMS:n havainnointia rajoittaa aerodynaamisen linssin läpäisytehoisuus. Linssin läpäisevät vain noin 50–1000 nm:n tyhjiön aerodynaamisen halkaisijan omaavat hiukkaset (Liu et al., 2007). Suuret hiukkaset häviävät linssissä törmäyksen tai sieppauksen vaikutuksesta ja pienimmät hiukkaset häviävät diffuusion vaikutuksesta linssin ulostulossa (Liu et al., 1995). Aerodynaamisen linssin katkaisun takia kaikki tutkimukset, joissa AMS:ia on käytetty kemiallisen koostumuksen mittaamiseen jättävät huomiotta kaikista pienimmät hiukkaset, joiden terveysvaikutukset voivat olla merkittäviä.



Kuva 1. SP-AMS:n osat ja toimintaperiaat (mukailtu DeCarlo et al. 2006, Onasch et al. 2012).

Martikainen et al. (2021) kehittivät konseptin nokihiukkaskasagglomeraatiokammioista (SPAI), jolla voitaisiin mitata myös kaikista pienimpien hiukkasten kemiallinen koostumus reaaliajassa. Muita menetelmiä ei ole olemassa tähän käyttötarkoitukseen rajoittamatta mittaussykä joko mitattavien yhdisteiden tai aikaresoluution kustannuksella.

Martikainen et al. (2021) käyttivät SPAI:ta kasvattamaan AMS:n herkkyyttä nanokokoisiin hopeahiukkasiin. Tutkimuksessa todistettiin konseptin toimivan, mutta SPAI:n parametrit sekä käyttö vaativat paljon jatkotutkimusta. Hopealle ei myöskään mitattu kalibrointikerrointa, joten on vaikeaa sanoa kuinka hyvin laite toimi.

SPAI:n toiminta perustuu agglomeraatiokammioon, johon tuodaan sopivankokoisia hiukkasia AMS:n läpäisyyn. Kammiossa näytteen nanohiukkaset agglomeroituvat suurempien hiukkasten pinnalle, jolloin ne voivat läpäistä aerodynaamisen linssin. Martikainen et al., (2021) tuottivat kantohiukkaset polttimella ja käsittelivät ne poistaen haihtuvat yhdisteet. Kammion virtaus luotiin ejektorilaimentimella (ED). Nokihiukkaset valittiin kantohiukkasiksi niiden korkean höyrystymislämpötilan vuoksi, jolloin niiden pinnalle kerääntyneet laserin aallonpituutta absorboimattomat yhdisteetkin voitaisiin tunnistaa. (Martikainen et al., 2021)

Laitekehitys

SPAI:ssa käytetty poltin ja jälkikäsittely ovat osia, jotka vaativat monia kaasuja sekä korkean lämpötilan, mikä vaikeuttaa mittausjärjestelyn käyttämistä kentällä. Kantohiukkasten materiaali myös rajoittaa, mitä näytteestä voidaan havaita. Esimerkiksi käyttämällä poltinta on vaikeaa havaita hiiltä sekä hiilivetyjä sisältäviä yhdisteitä, mutta esimerkiksi metallien havainnointi olisi mahdollista.

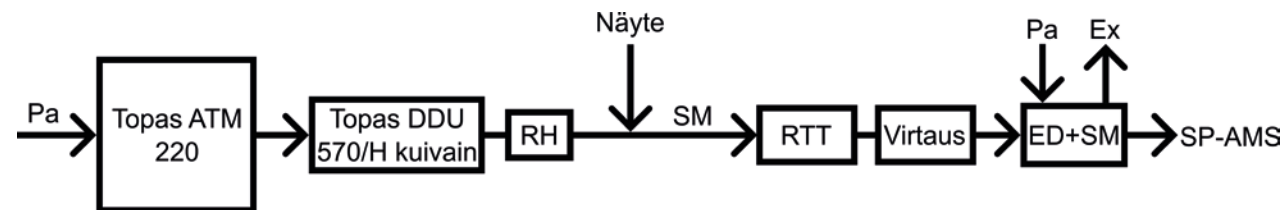
Diplomityössä päätettiin korvata poltin ja jälkikäsittely pirsrottimella, johon voitaisiin vaihtaa monia eri liuoksia eri käyttötarpeisiin. Liuoksiksi valittiin Cab-O-Jet 300 (CB) ja NaCl. Muillekin suoloille tehtiin alustavia mittauksia. CB on mustaa hiiltä mukaileva neste, jota voidaan käyttää myös

AMS:n kalibrointiin. Natrium ja kloori ovat siinä suhteessa hyviä atomeja, että niiden kanssa samalla massavarausluvulla ei ole monia yleisiä yhdisteitä. CB:llä voidaan kuitenkin havaita metalleja ja muita kuumuudenkestäviä yhdisteitä, joten se oli työn pääpainona. Kun hiukkastuottomenettelmä oli valittu, optimoitavia parametreja olivat hiukkastuoton paine ja liuoksen konsentraatio sekä viipymäaika kammion virtaus, virtausten suhde ja tilavuus.

Ensimmäisenä tutkittiin hiukkastuottoa. Mittausjärjestelyyn kuului pirskotin, kuivain, virtausmittari ja skannaava liikkuvuusluokittelija (SMPS). CB:lle ja NaCl:lle tehtiin samat mittaukset, joissa liuoksen konsentraatiota sekä pirsrottimen painetta säädettiin. Näiden mittauksen perusteella voitiin valita parametrit, joilla luotu hiukkaskokojakauma parhaiten vastasi AMS:n läpäisyyn vaadittavaa hiukkaskokoa. Tässä vaiheessa tiedettiin pirsrottimen paineen, liuoksen konsentraation ja pirsrottimessa syntyvän hiukkaspitoisuuden.

Seuraavaksi määritettiin optimaalinen viipymäaika ja sekoitussuhde näytteelle ja kantohiukkasille. Viipymäajan vaikutusta agglomeraatioon mitattiin sekoittamalla pirsrottimella luotuja CB-hiukkasia termisessä läpivirtauskammiossa syntyneiden nanokokoisten hopeahiukkasten kanssa, ja säätämällä viipymäaika ja pitoisuutta. Hopeahiukkasten pienen koon takia tarvittiin toinen SMPS-laitteisto mittaamaan hiukkaskokojakaumaa. Kahdella SMPS-laitteistolla mitattujen hiukkaskokojakaumien avulla pystyttiin määrittämään, millainen viipymäaika milläkin hiukkaspitoisuudella vaaditaan siihen, että tarpeeksi suuri osa näytteestä on agglomeroitunut kantohiukkasiin.

Näiden kahden mittauksen jälkeen agglomeraatiokammion käyttöön tarvittavat parametrit olivat saatavilla. Viipymäaika kammio voidaan rakentaa valitsemalla sopiva näyttevirtaus, joka voidaan valita tiedossa olevien pirsrottimen virtauksen ja pitoisuuden avulla. Viipymäajaksi valittiin 40 s, joka on tarpeeksi lyhyt aika käytettäväksi muuttuvissa olosuhteissa. Virtaus pidetään laminaarisena, jolloin yksittäiset tapahtumat voidaan erottaa mittauksissa.



Kuva 2. Agglomeraatiokammion osat: Pa on paineilma, RH on kosteusanturi, SM on staattinen sekoittaja, RTT on viipymä-aikakammio, ED on ejektorilaimennin, Ex on poistolinja ja SP-AMS on nokahiukkasaerosolimassaspektrometri.

Kuvassa 2 on esitetty agglomeraatiokammion osat. Pirsoktin ja kuivain eivät tarvitse muuta kuin paineilmaa. Kosteus- ja virtausmittarit vaativat datayhteyden tietokoneeseen, ja ejektori tarvitsee paineilmaa. Kyseessä on siis hyvin pieneen pakettiin mahtuva laitteisto, joka ei tarvitse muuta kuin tietokoneen ja paineilmaa. Laite on siis huomattavasti helpokäyttöisempi kuin aikaisempi SPAI-versio. Liikkuvia osia ei ole ja laitteen puhdistaminen on helppoa.

Tulokset

Laitteen toiminta varmennettiin tekemällä kalibroitimitauksia nanokokoisilla metallihiukkasilla, ja vertaamalla saatuja arvoja teoreettisiin- ja kirjallisuusarvoihin. Metallihiukkaset luotiin putkiuunissa ja johdettiin liikkuvuusluokittelijan (DMA) sekä keskipakovoiman hiukkasmassa-analysaattorin (CPMA) läpi. Näin saatiin luotua tasakokoinen hiukkaskokojakauma, jolle tiedettiin yksittäisen hiukkasen massa. Nämä tietynmassaiset hiukkaset vietiin laimentimen läpi, jolla hiukkaspitoisuutta voitiin säätää. Hiukkaset vietiin sitten kondensatiohiukkaslaskuriin (CPC) ja agglomeraatiokammion kautta SP-AMS:iin. CPC:n ilmoittaman lukumääräpitoisuuden ja tunnetun hiukkasmassan avulla voitiin laskea SP-AMS:iin menevä massavirta, jota voitiin verrata AMS:n signaaliin, ja laskea kalibroitimetimetalleille.

Mittauksissa tehtiin hiukkasia neljästä eri metallista: Ag, Al, Sn ja Zn. Nämä metallit olivat sopivia kokeisiin niiden alhaisen sulamispisteen ansiosta. Mittauksissa myös selvitetiin havaintorajoja näille metalleille mittaamalla pelkkiä kantohiukkasia sekä puhdasta paineilmaa.

Metalleilla on suuri massavirhe eli niiden etäisyys massaluvun keskipisteestä on suuri, joten niiden erottamisen muista

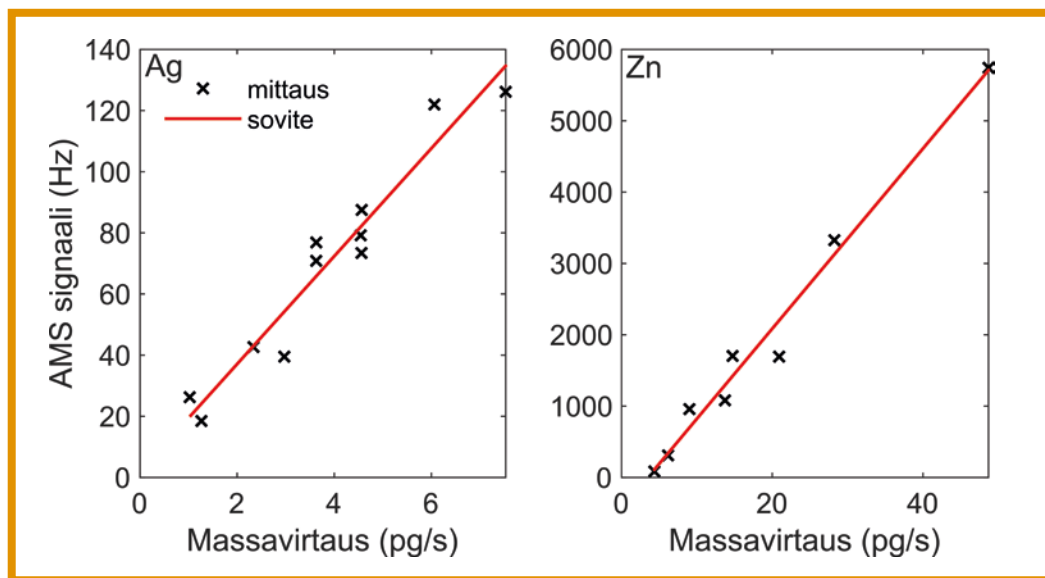
yhdisteistä tulisi onnistua. CB:n taustasignaali oli kuitenkin niin suuri, että selkeää häiriötä esiintyi kaikille mitatuille metalleille. Joidenkin metallien kohdalla viereinen piikki oli niin korkea, että AMS:n resoluutio ei riittänyt erottamaan metallin signaalia suuresta taustasta. Joillain metalleilla oli myös selkeä piikki, vaikka AMS:iin menisi ainoastaan CB:tä ja paineilmaa. Tämä signaali voi johtua siitä, että kuumana höyrystyvät CB-hiukkaset höyrystävät laitteen sisällä olevia metalleja.

Tämän häiriösignaalin takia alumiinia ja tinaa ei voitu havaita mitatuilla pitoisuuksilla. Hopeaa ja sinkkiä voitiin kuitenkin havaita häiriöstä huolimatta. Hopean ja sinkin kalibraatiosuorat on esitetty kuvassa 3, ja näiden aineiden ionisaatiotehokkuuksia ja vertailua teoreettisiin arvoihin on esitetty taulukossa 1.

Laite paransi sekä hopean että sinkin havainnointia SP-AMS:illa vaikkakin havaintorajat jäivät melko korkeiksi. Kun ottaa huomioon myös laimennuksen (~9), ovat havaintorajat vielä korkeampia ja laitteen käyttö tällaisenaan todellisissa mittaustilanteissa ei todennäköisesti olisi kannattavaa.

RIE-arvot ovat melko kaukana teoreettisista arvoista, mutta teoreettisten arvojen tarkkuus on kohtalaisen heikkoa (esim. Murphy, 2016). Vastaavaan tutkimukseen (Carbone et al., 2015) verrattuna arvot ovat hyvin lupaavia. SP-AMS tai mikään agglomeraatiokammion osista ei tukkeutunut mittauksen aikana ja siivoaminen oli helppoa, joten paljon tärkeää tietoa laitteen käytöstä kertyi.

Diplomityössä valittu CB sopi kantohiukkaseksi kokonsa ja helpon käytettävyytensä puolesta, mutta korkea taustasignaali esti kahden metallin havainnoinnin. Tulevaisuudessa agglomeraatiokammion kehityksen tulisi keskittyä puhtaiden



Kuva 3. Kalibroitinsuorat hopealle (vasen) ja sinkille (oikea). Y-akselina on SP-AMS:n mitaama signaali ja x-akselina on CPC:n avulla laskettu massavirtaus.

Ioni	σ (Å ²)	RIE _t	RIE _m	RIE _t /RIE _m	DL (ng/m ³)
Ag ⁺	5,24	0,44	0,13	0,3	68
Zn ⁺	3,66	0,48	0,94	1,96	77
C ₃ ⁺	4,43	1	1	1	30

Taulukko 1. Mitatut ionit, niiden elektroni-ionisaation poikkileikkaukset (σ , 70 eV), teoreettiset ionisaatiotehokkuudet suhteessa mustaan hiileen (RIE_t), jotka on laskettu σ :n avulla, mitatut ionisaatiotehokkuudet (RIE_m), teoreettisen ja mitatut ionisaatiotehokkuuden suhteet sekä havaintorajat (DL) ilman laimennusta.

kantohiukkasten löytämiseen. Kemiallisesti puhtaiden hiukkasten luominen ei ole helppoa ja vaatii paljon jatkotutkimusta. Niitä voisi löytyä polttimista, vaikkakin käytettävyys kärsisi, tai esimerkiksi kipinägeneraattoreista. Työssä esitelty mittausjärjestely ja tulokset ovat kuitenkin sovellettavissa tulevaan kehitykseen.

Yhteenveto

Diplomityössä kehitettiin laitetta, jolla voitaisiin mitata nanohiukkasten kemiallista koostumusta. Lähtökohtana oli konsepti, jossa nanohiukkaset agglomeroituvat suurempien kantohiukkasten pinnalle ja päätyvät SP-AMS-mittalaitteeseen analysoitavaksi.

Työssä esitettiin menetelmiä kantohiukkasten ja viipymäajan optimoimiseksi sekä kalibroitimitauksia eri metalleille. Laite toimi hopean ja sinkin mittaustehokkuuden kasvattamiseen, mutta alumiinia tai tinaa ei voitu havaita korkean taustasignaalin takia.

Diplomityössä esiteltyjä menetelmiä voidaan tulevaisuudessa soveltaa sopivien kantohiukkasten valitsemiseen ja tehty työ toimii alustana jatkokehitykselle. ■

English summary

Nanoparticles, meaning particles with a diameter below 50 nm, can translocate to different parts of the body through the lungs' alveoli. This ability means that understanding the chemical composition of nanoparticles is very important as toxic material can make its way to critical organs having a greater effect compared to larger particles, which will be lost in the upper airways.

The chemical composition of particles can be measured in real time using the aerosol mass spectrometer (AMS). With a soot-particle module (SP-AMS), the instrument can also detect non-refractory materials such as soot or some metals. The instrument has a low transmission efficiency for nanoparticles and particles above 1 μ m.

The thesis focuses on developing a technique for improving the detection efficiency of nanoparticles using the SP-AMS. The technique consists of generating large particles that can carry the nanoparticles into the SP-AMS. The nanoparticles are collected on the larger particles in an agglomeration chamber. This work focuses on finding optimal parameters for the system and validating it with metallic nanoparticles. The instrument was able to improve detection of some metals while others were not detected due to the significant background of the carrier particles.

Diplomityö tehtiin Tampereen yliopiston teknis-luonnontieteellisessä tutkinto-ohjelmassa. Tutkimus tehtiin osana Suomen Akatemian rahoittamaa MEAPS-hanketta.

Lähteet

- Booth, B. ja N. Bellouin (2015). "Climate change: Black carbon and atmospheric feedbacks". *Nature (London)* 519.7542, s. 167–168.
- Carbone, S., T. B. Onasch, S. Saarikoski, H. Timonen, K. Saarnio, D. Sueper, T. Rönkkö, L. Pirjola, A. Häyriäinen ja D. Worsnop (2015). "Characterization of trace metals on soot aerosol particles with the SP-AMS: detection and quantification". *Atmospheric Measurement Techniques* 8.11, s. 4803–4815.
- DeCarlo, P. F., J. R. Kimmel, A. Trimborn, M. J. Northway, J. T. Jayne, A. C. Aiken, M. Gonin, K. Fuhrer, T. Horvath ja K. S. Docherty (2006). "Field-deployable, high-resolution, time-of-flight aerosol mass spectrometer". *Analytical chemistry* 78.24, s. 8281–8289.
- Liu, P. S. K., R. Deng, K. A. Smith, L. R. Williams, J. T. Jayne, M. R. Canagaratna, K. Moore, T. B. Onasch, D. R. Worsnop ja T. Deshler (2007). "Transmission efficiency of an aerodynamic focusing lens system: Comparison of model calculations and laboratory measurements for the Aerodyne Aerosol Mass Spectrometer". *Aerosol Science and Technology* 41.8, s. 721–733.
- Liu, P., P. J. Ziemann, D. B. Kittelson ja P. H. McMurry (1995). "Generating particle beams of controlled dimensions and divergence: I. Theory of particle motion in aerodynamic lenses and nozzle expansions". *Aerosol Science and Technology* 22.3, s. 293–313.
- Martikainen, S., S. Saarikoski, P. Juuti, H. Timonen, J. Keskinen ja P. Karjalainen (2021). "Soot particle agglomeration inlet (Spai) for enabling online chemical composition measurement of nanoparticles with the aerosol mass spectrometer". *Aerosol and Air Quality Research* 21.6, s. 200638.
- Murphy, D. M. (2016). "The effects of molecular weight and thermal decomposition on the sensitivity of a thermal desorption aerosol mass spectrometer". *Aerosol Science and Technology* 50.2, s. 118–125.
- Onasch, T. B., A. Trimborn, E. C. Fortner, J. T. Jayne, G. L. Kok, L. R. Williams, P. Davidovits ja D. R. Worsnop (2012). "Soot particle aerosol mass spectrometer: development, validation, and initial application". *Aerosol Science and Technology* 46.7, s. 804–817.
- Schraufnagel, D. E. (2020). "The health effects of ultrafine particles". *Experimental & molecular medicine* 52.3, s. 311–317.
- Schraufnagel, D. E., J. R. Balmes, C. T. Cowl, S. De Matteis, S.-H. Jung, K. Mortimer, R. Perez-Padilla, M. B. Rice, H. Riojas-Rodriguez, A. Sood, G. D. Thurston, T. To, A. Vanker ja D. J. Wuebbles (2019). "Air Pollution and Noncommunicable Diseases: A Review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 1: The Damaging Effects of Air Pollution". *Chest* 155.2, s. 409–416.

VALOKEILASSA

Sarjassa haastattemme ilmansuojelualalla toimivia ihmisiä heidän urastaan ja ajatuksistaan ilmansuojelun ja ilmastotyön tulevaisuudesta



KUVA: LAURA KOTILA / YMPÄRISTÖMINISTERIO

Kaarle Kupiainen

Kuinka kauan olet työskennellyt ilmansuojelun, ilmastokysymysten tai molempien aiheiden parissa?

Minulla on ollut ilo ja etuoikeus työskennellä sekä ilmansuojelun että ilmastokysymysten parissa. Yhteensä työurani on kestänyt yli 25 vuotta. Aloitin 1990-luvun lopulla ilmansuojelun alalla tutkien katupölyn päästölähteitä ja vähennyskeinoja. Työ oli oikein antoisaa, teimme läheistä yhteistyötä paitsi ympäristöviranomaisten ja tutkijoiden, myös käytännön toimijoiden eli kadun kunnossapidon sekä rengasteollisuuden kanssa. Yhteistyössä on voimaa! Jo aika alussa ala myös kansainvälistyi vahvasti, erityisesti Pohjoismaihin, mutta myös laajemmin Eurooppaan ja Pohjois-Amerikkaankin. 2000-luvun puolivälissä työnkuvaan tuli mukaan myös ilmansaasteiden ilmastokytkentä, kuten nokipäästöjen arviointi ja skenaariomallintaminen. 2010-luvun lopussa siirryin yhä enemmän työskentelemään ilmastokysymysten parissa. Ympäristöministeriössä työskentelin muun muassa YK:n ilmastoneuvottelutehtävissä. Kiinnostavaa aikaa oli myös toiminta Ilmansuojeluyhdistyksen hallituksessa 2009–2014, joista viimeiset kaksi vuotta puheenjohtajana. ISY tarjoaa hyvän näköalan suomalaisen ilmansuojelu- ja ilmastoalan toimijoihin kautta sektorien, ja yhdistys on omalla urallani ollut keskeinen myös verkostoitumisen näkökulmasta.

Mitkä ovat olleet merkittävimmät murroskohdat alalla oman urasi aikana?

Ilmansuojelussa merkittävän sysäyksen toi 1990-luvun ja 2000-luvun painotukset erityisesti ilmakehän hiukkasten

tutkimukseen ja sen kansallisen sekä EU-tasoisien lainsäädäntökehikon luomiseen. EU:n ilmansuojeludirektiivi toi pontta myös oman urani alkuun, josta mieleen tulee erinäiset tutkimukselliset löydöksemme katupölyn alueella. Onnistuimme määrittelemään päälähteitä uusin menetelmin ja myös tunnistamaan keskeiset pölyntorjunnan keinot. Tätä työtä tehtiin läheisessä yhteistyössä kaupunkien ja kuntien kanssa, ja tulokset toimivat perustana myös tämän päivän käytännön ilmansuojelutyössä.

Ilmaston ja ilmansuojelun kytkennät tulivat fokukseseen 2000-luvun loppupuolella ja siitä rajapinnasta mieleen ovat jääneet AMAP:in tieteelliset arviointiraportit arktisen alueen mustan hiilen ja metaanin parissa. Johdin raporttien kokoomista 2010-luvulla, ja osin niiden perusteella onnistuttiin Arktisen neuvoston piirissä sopimaan päästövähennyksiä kirittävä puiteasiakirja ja tavoitteet. Kansainvälisessä ilmastopolitiikassa merkittävä merkkipaalu on luonnollisesti Pariisin sopimuksen solmiminen vuonna 2015. Tosin olin jo opiskelujen kautta Kioton pöytäkirjan solmimisen aikoihin tutustunut teemaan. Sittenmin olen itsekkin osallistunut osana EU:n neuvottelutiimiä kansainvälisen ilmastopolitiikan ja Pariisin sopimuksen toimeenpanoon. Erityisen mieleenpainuvaa on ollut osallistumiseni ensimmäisen Pariisin sopimuksen kokonaistarkastelun (Global Stocktake) läpivientiin ja sen poliittisen päätöksen neuvotteluihin. Kokonaistarkastelu on keskeinen osa Pariisin sopimuksen arkkitehtuuria. Katson sen olleen onnistunut ja viitoittavan oikeita suunta-
viivoja kansainvälisen ilmastopolitiikan tulevaisuudelle.

Mitkä ovat olleet viimeisimpiä työtehtäviäsi tai projektejasi?

Jatkan edelleen kansainvälisissä ilmastoneuvottelutehtävissä ja valmistautuminen Brazilian Belémmissä pidettävään COP30 osapuolikokoukseen on tällä hetkellä työn alla. Toimin parhaillaan neljättä vuotta OECD:n ympäristöpolitiikkakomitean puheenjohtajana, mikä työllistää laaja-alaisesti eri ympäristöpolitiikan alueilla. Seuraavaa kokousta valmistelemme parhaillaan lokakuulle. Mieluisa työtehtävä oli myös pitää puheenvuoro Ilmansuojelupäivillä elokuussa. Onnea 50-vuotiaille Ilmansuojelupäiville!

Mitä näet suurimpina tulevana trendeinä ja haasteina alalla?

Molemmilla aloilla yleistavoitteen voi ajatella olevan periaatteessa sama: päästöjen vakauttaminen vaarattomalle tasolle, vaikka esimerkiksi hiukkasilla sellaista ei taida olla pystytty määrittelemään. Yleinen tilanne on maailmanlaajuisesti edelleen sellainen, että työtä tässä tavoitteessa riittää. Ilmastoalalla keskeistä on saada ensinnäkin maiden tavoitteet esimerkiksi Pariisin sopimuksen mukaisiksi, sekä kiireellisesti kiihdyttää käytännön ilmastotoimia ja sektorisiirtymiä vähähiiliseen maailmaan. Ilmansuojelun alalla on valtavia haasteita, esimerkiksi maailman megakaupungeissa. Esimerkiksi energia- ja liikennesektorien ratkaisujen jalkauttaminen olisi tärkeää ja niillä voitaisiin myös edistää kunnianhimoista ilmastopolitiikkaa. EU-alueellakin ilmansuojelutyötä tulee jatkaa, huomioden myös tulevat kiristykset ilmanlaadun raja-arvoissa.

Mitä haluaisit saada aikaan urasi aikana?

Haluaisin pystyä toteamaan, että minunkin työlläni edesautettiin parempaa maailmaa ja kaikille turvallista ilmakehää. Tämän mission toteuttamiseksi on oleellista toimia keskeisissä prosesseissa ja yhteisöissä, joissa päätöksiä, tutkimuksia tai ratkaisuja etsitään, tehdään ja edesautetaan. ■

Neuvotteleva virkamies Kaarle Kupiainen työskentelee Suomen ympäristöministeriössä, jossa hänen pääasialliset vastuualueensa liittyvät kansainväliseen yhteistyöhön ilmasto- ja ympäristöpolitiikassa. Hän edustaa Suomen hallitusta UNFCCC:ssa, IPCC:ssa, OECD:ssä sekä arktisessa ja pohjoismaisessa yhteistyössä eri tehtävissä. OECD:ssä hän toimii tällä hetkellä ympäristöpolitiikkakomitean (EPOC) puheenjohtajana. Kupiainen väitteli filosofian tohtoriksi Helsingin yliopistosta vuonna 2007. Hän toimi tutkimustehtävissä Suomen ympäristökeskuksessa (SYKE) ja Itävallan International Institute for Applied Systems Analysis -instituutissa (IIASA) ennen siirtymistään ympäristöministeriön palvelukseen. Hän on toiminut myös tutkimus- ja johtotehtävissä yksityisellä sektorilla Nordic Environ Oy:ssä. Kupiainen oli mukana ISY:n hallituksessa vuosina 2009–2014 ja hallituksen puheenjohtajana 2013–2014.

ILMANSUOJELUYHDISTYKSEN JUHLAVUOSI

2026

JUHLAVUOSI TARJOAA TEEMAN MUKAISTA,
AJANKOHTAISTA JA MIELENKIINTOISTA
OHJELMAA.

PYSY KUULOLLA TILAAMALLA UUTISKIRJE
[ISY.FI/UUTISKIRJE](https://isy.fi/uutiskirje)

50

VUOTTA
ILMANSUOJELU-
YHDISTYS ry.

TAPAHTUU

Tapahtuu-osiossa kerromme ISY:n järjestämistä tapahtumista, seminaareista ja retkistä. Lisätietoa: isy.fi

ILMANSUOJELUPÄIVÄT 50 VUOTTA

KUVA: OUTI VÄKEVÄ



Ilmansuojeluyhdistyksen entisiä ja nykyisiä puheenjohtajia sekä varapuheenjohtajia Rakuunanmäen juhlatilassa. Vasemmalta alkaen: Maija Leino (nykyinen vara-pj), **Katja Lovén**, Esa Tommila, Harri Pietarila, Ville-Veikko Paunu (nykyinen pj), Alec Estlander, Matti Hahkala, **Anu Kousa**, Kaarle Kupiainen ja **Jari Viinanen**.

ISY:n Ilmansuojelupäivien 50-vuotisjuhlavuoden seminaaria vietettiin 19.–20. elokuuta Lappeenrannassa LUT-yliopiston tiloissa. Seminaariohjelmassa oli laaja kattaus ilmaston- ja ilmansuojelun ajankohtaista asiaa. Osa esityksistä oli englanniksi, ja tilaisuuteen osallistui myös kansainvälisiä vieraita. LUTin Viipuri-salissa oli 125 osallistujaa, ja etäyhteyksien kautta tapahtumaa seurasi enimmillään 41 henkilöä.

Outi Väkevä, ilmansuojeluasiantuntija, Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY

Lappeenrannan yliopistolla (LUT) vietetyt ilmansuojelupäivät palasivat 50-vuotispäivän kunniaksi juurilleen, sillä ilmansuojelupäivät saivat alkunsa silloisen Lappeenrannan teknillisen korkeakoulun professori **Mikko Huovilaisen** aloitteesta vuonna 1975. Korkeakoulu ja Lappeenrannan kesäyliopisto vastasivat aluksi tapahtuman järjestämisestä. Ensimmäisen seminaaripäivän alustuksissa valotettiin monesta näkökulmasta seminaarin historiaa ja ilman- ja ilmastonsuojelun kehitystä.

Ensimmäisen session puheenjohtajana toimi Ilmansuojeluyhdistyksen puheenjohtaja **Ville-Veikko Paunu**, joka kiitti järjestäjiä sekä seminaarin sponsoreita. Avauspuheen piti LUTin rehtori **Juha-Matti Saksa**, joka toivotti osallistujat lämpimästi tervetulleiksi yliopistolle. Oman videotervehdyksensä esitti ympäristö- ja ilmastoministeri **Sari Multala**, jonka mukaan seminaari on hyvä esimerkki yhteistyöstä, joka on tehnyt suomalaisista edelläkävijöitä monissa yhteyksissä ilman- ja ilmastonsuojelun kentällä.

KUVA: OUTI VÄKEVÄ



Osallistujia saapumassa LUT-yliopistolle Lappeenrannan rautatieasemalta, josta oli bussikuljetus yliopistolle.

Ympäristöministeriön ajankohtaiskatsauksen esitti ylijohtaja **Veli-Matti Uski**. Valtion aluehallintoa uudistetaan, ja ensi vuoden alussa toimintansa aloittavat lupa- ja valvontavirasto (LVV) ja 10 elinvoimakeskusta. Keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelma KAISU3 on parhaillaan lausunnoilla ja ilmastolain arviointi on meneillään. Uusi ilmanlaatudirektiivi on vietävä kansalliseen lainsäädäntöön joulukuuhun 2026 mennessä. LUTin professori **Lassi Linnanen** loi katsauksen ilman- ja ilmansuojelun kehitykseen viimeisten 50 vuoden aikana. Hän muistutti planetaaristen rajojen turvaamisen ja kohtuuden periaatteen tärkeydestä.

Aamupäivän sessiossa oli kaksi ulkomaista esitystä. Pohjoismaiden ministerineuvoston vanhempi asiantuntija **Anna Engleryd** muistutti esityksessään pohjoismaisen yhteistyön merkityksestä ympäristönsuojelun edistämisessä. Pohjoismaat ovat tehneet laajaa tutkimusyhteistyötä ja saaneet viestinsä vietyä myös poliitikoille niin sanotun pohjoismaisen mafian voimin. Lontoon Imperial Collegen vanhempi luennoitsija **Gary Fuller** oli estynyt tulema paikalle, mutta hän esiintyi etäyhteyden kautta. Fuller kertoi, että pian on kulunut 75 vuotta Lontoon smog- eli savusumuepisodista, joka tappoi tuhansia ihmisiä. Se johti ilmansuojelulain (Clean Air Act) hyväksymiseen, ja jo kymmenessä vuodessa pienhiukkaspitoisuudet putosivat 70 prosenttia. Viime vuosina Lontoon ilmanlaatu on edelleen parantunut muun muassa tiukkojen ympäristövyöhykkeiden ansiosta, mutta haasteita on edelleen.

Miten päästään eteenpäin ilmastopolitiikassa

Lounaan jälkeisen ilmastopolitiikkaa käsittelevän session puheenjohtajina toimivat **Alec Estlander** ja **Kari Hämekoski**, jotka ovat pitkään olleet mukana yhdistyksen toiminnassa. **Markku Ollikaisen** esitys oli peruuntunut, mutta hänen sijastaan Suomen ilmastopolitiikan kehittämisestä puhui **Teppo Säkkinen** Keskuskauppakamarista. Hänen mukaansa vuoden 2035 ilmastoneutraaliustavoite on yhä mahdollista saavuttaa, vaikka maankäyttösektorin nielut ovatkin kääntyneet päästölähteeksi. Tämä vaatii päästöjen vähentämisestä

Ilmansuojelupäivät on hyvä esimerkki yhteistyöstä, joka on tehnyt suomalaisista edelläkävijöitä.

KUVA: OUTI VÄKEVÄ



Ilmansuojelupäivien aluksi ympäristö- ja ilmastoministeri **Sari Multala** esitti videotervehdyksensä LUTin Viipuri-Saliin kokoon-tuneelle yleisölle.

nykyisestä 75–80 prosenttia, sekä erilaisten täydentävien toimien, teknisten nielujen ja kansainvälisten joustojen hyödyntämistä.

Professori **Kati Kulovesi** Itä-Suomen yliopistosta arvioi puheessaan Suomen ilmastolain toimivuutta. Laki on Britannian ilmastolain kaltainen puitelaki, joka luo puitteet ilmastopolitiikalle mutta ei sisällä päästötavoitteita. Laki ei nykyisellään ole kovin vahva ja sen toimeenpanossa on haasteita, mutta lain uudistaminen ja toimeenpanon vahvistaminen voisivat Kuloveden mukaan tehdä laista toimivamman. **Juha Korpi** ympäristöministeriöstä pohti esityksessään, miten Suomen ilmastoinvestoinnit voidaan rahoittaa ja taata investointiympäristön vakaus. Vihreän siirtymän ratkaisut ovat Suomen talouden veturi, ja niiden rahoittamiseksi Suomen on Korven mukaan tärkeää hyödyntää täysimääräisesti EU:n rahoituskanavia.

Tämän lehden valokeilajutussakin esitelty **Kaarle Kupiainen** ympäristöministeriöstä loi katsauksen kansainvälisen ilmastopolitiikan tilanteeseen ja tulevaisuuden näkyymiin. Kansainvälisten sopimusten neuvotteluagendat ovat paisuneet ja päätöksiin tarvitaan konsensus, mikä hidastaa etenemistä. Globaali hallinto antaa kuitenkin puitteet toiminnalle ja on niin tehokas kuin osapuolet haluavat sen olevan.

Ensimmäisen päivän viimeisessä sessiossa **Harri Pietarila** esitteli Ilmatieteen laitoksen kansainvälisiä hankeaktiviteetteja ja palveluja. Ilmatieteen laitos on tehnyt yhteistyötä yli 100 maassa hydrometeorologisten palvelujen kehittämisessä. Ukrainan kanssa yhteistyötä on tehty jo yli 10 vuotta, ja ilmansuojelupäivillä oli mukana ryhmä Ilmatieteen laitoksen ukrainalaisvieraita. Päästömonitorointiratkaisuja tarjoavan Kontramin edustaja **Marko Heino** kertoi yrityksensä kansainvälisen yhteistyön kehittämisestä etenkin Virossa, jossa yrityksellä on laajaa toimintaa. Nesteen ympäristöasiantuntija **Juha Heijari** esitteli Nesteen ilmastotyötä erityisesti uusiutuvien polttoaineiden ja ratkaisujen kehittämisessä. Neste on uusiutuvien polttoaineiden edelläkävijä ja tavoittelee hiilineutraaliutta vuonna 2040.

Juhlailallisella muisteltiin yhdistyksen pitkää historiaa Juhlailallinen tarjottiin Rakuunamäen kauniisti remontoitussa juhlatilassa, joka toimi ennen varuskunnan sotilas-kotina. Yleisöä viihdytti muisteluillaan Muppet-shown herasmiesten tyyliin kolmikko, jonka muodostivat yhdistyksen 1. ja 2. puheenjohtaja **Alec Estlander** ja **Matti Hahkala** sekä samaan aikaan varapuheenjohtajana toiminut **Esa Tommila**. Ruoka oli maukasta, ja illallisen jälkeen esiintyi Ilmiö-bilebändi, joka sai ihmiset sankoin joukoin tanssilattialle. Illanvietto Rakuunanmäellä jatkui rattoisasti puoleen yöhön saakka.

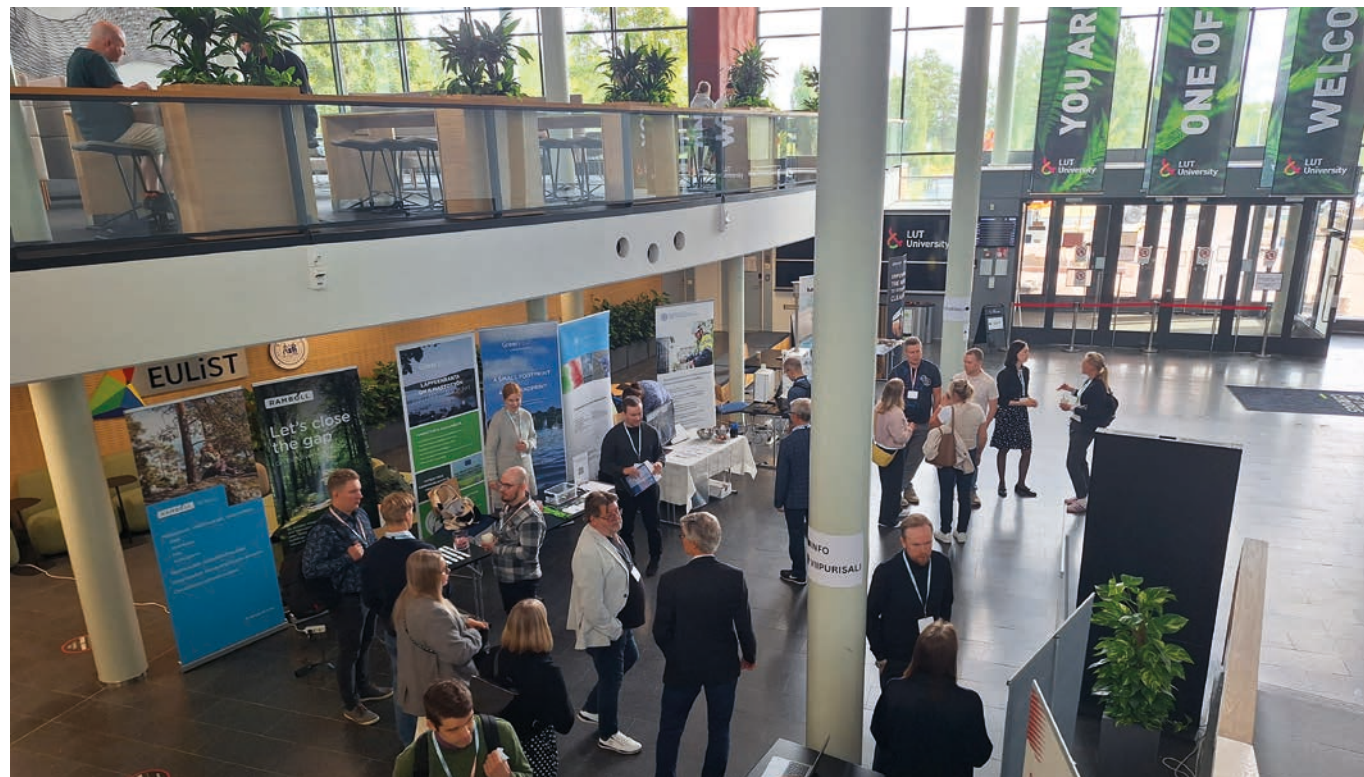
Puunpolto ja liikenne kaupunki-ilman haasteina

Toisen päivän aluksi käsiteltiin kaupunki-ilman haasteita ja terveyshaittoja. Tutkija **Heli Lehtomäki** THL:stä kertoi ajan-kohtaista tietoa pienhiukkasten terveyshaitoista. Hiukkaset vaikuttavat laajasti elimistöön useiden vaikutusmekanismien kautta, eikä pienhiukkaspitoisuudelle ole todettu turvallista rajaa. Vuonna 2025 päättyvässä ULTRAHAS-hankkeessa keskitytään erityisesti ultrapieniin hiukkasiin ja eri liikenne-muotojen päästöjen terveysvaikutuksiin EU-maissa.

HSY:n ilmansuojeluasiantuntija **Nelli Kaski** kertoi pääkaupunkiseudun puunpolton päästöistä ja niiden vaikutuksesta kaupunki-ilmanlaatuun. Uusimman HSY:n päästöarvion mukaan puunpolto kotitalouksissa ja puunpolton päästöt ovat hieman vähentyneet, mutta puunpolto säilyy kuitenkin vielä kaupunki-ilman haasteena. Tampereen yliopiston professori **Topi Rönkkö** esitteli, miten aerosolipäästöt muuttuvat ilmakehässä ja vaikuttavat hiukkaspitoisuuksiin. Liikenne on ultrapienien hiukkasten merkittävä lähde, ja pitoisuudet ovat korkeimpia vilkkaissa liikenneympäristöissä.

Raskaan liikenteen päästöistä ja sähköistymisen vaikutuksista päästöihin kertoi tutkimusjohtaja **Ville Naumanen** Kempowerilta. Uusiutuvalla energialla tuotetulla sähköllä on mahdollista vähentää raskaan liikenteen päästöjä huomattavasti, mutta haasteena on kaluston korkea hinta ja autokannan hidas uusiutuminen. Latausverkostoa täytyy myös merkittävästi

KUVA: OUTI VÄKEVÄ



Ilmansuojeluyhdistyksen lisäksi tapahtumassa oli yhdeksän laite-esittelijää. Taukojen aikana osallistujat saivat yritysnäyttelyssä tutustua tarkemmin esillä oleviin tuotteisiin ja palveluihin.



Päivän päätteeksi kokoonnuttiin illalliselle Rakuunanmäen tunnelmalliseen juhlatilaan.

laajentaa: vuoteen 2030 mennessä tarvitaan 32 000 uutta suurteholatauspistettä. **Petri Söderena** VTT:ltä kertoi, miten raskaan liikenteen päästönormien tiukentuminen on vaikuttanut ajoneuvojen päästöihin. Aluksi todellisen ajon päästöt olivat huomattavasti laboratoriossa mitattuja korkeampia, mutta testaus on kehittynyt ja uudemmat ajoneuvoteknologiat ovat pienentäneet myös todellisen ajon päästöjä. Logistiikkayrityksen näkökulmaa esitti Ahola Groupin HR-johtaja **Annele Heikkilä**, joka esitteli yrityksensä tarjoamia vastuullisia logistiikkaratkaisuja. Kuljettajien rooli päästöjen vähentämisessä on oleellinen, ja yritys palkitsee vähäpäästöimmin ajavia kuljettajiaan.

Hiilidioksidipäästöistä voidaan tehdä liiketoimintaa

VTT:n johtava tutkija **Tuula Pellikka** toimi puheenjohtajana sessiossa, jossa esiteltiin hiilidioksidin hyötykäyttöä ja varastointia sekä liiketoimintamahdollisuuksia. **Lauri Kujanpää**

VTT:stä kertoi hiilidioksidin hyötykäytön ja varastoinnin mahdollisuuksista Suomessa. Puhdas sähkö ja vety ovat edellytyksiä hiilidioksidin korkean arvon jatkojalostukselle, joten riittävät investoinnit näihin on turvattava.

Tommi Göös Nordic Ren-Gas Oy:stä kertoi yrityksensä hanketoiminnan kehittämisestä, jossa biojätepohjaisen hiilidioksidin avulla tuotetaan e-metaania. Yritys on käynnistämässä Tampereella hanketoimintaa vuonna 2028. Operatiivinen johtaja **Jonne Hirvonen** Carbonaidesta kertoi betonituotteiden kovettamisesta hiilidioksidin avulla, jolloin samalla hiilidioksidi saadaan pysyvästi sidottua. Hirvosen mukaan maailman ensimmäinen hiilidioksidia hyödyntävä seinäelementtitehdas on tulossa Suomeen ensi vuonna. VTT:n Tuula Pellikka esitteli teollisuuden päästöraportointia ja sen laadunvarmistusta. Epävarmuuksien käsittelyyn on Pellikan mukaan tulossa ensi syksynä uuden teollisuuspäästödirektiivin mukainen ohje.

KUVA: JARI VIINANEN



Illallisella konkarit viihdyttivät yleisöä Muppet-shown tyyllisellä esityksellään. Vasemmalta **Esa Tommila**, **Alec Estlander** ja **Matti Hahkala**.



Väliaikaohjelmaan sisältyi käynti UPM-Kymmene Oy:n Kaukaan tehtaalla, jossa ympäristöpäällikkö **Minna Maunus-Tiihonen** kertoi tehtaan hajupäästöjen hallinnasta.

Ilmansuojelupäivien viimeisessä sessiossa yhdistyksen puheenjohtaja **Ville-Veikko Paunu** ja varapuheenjohtaja **Maija Leino** jakoivat yhdistyksen perinteiset stipendit oppinäytetöille. Yhdistyksen hallitus valitsi kolme opiskelijaa palkittaviksi 300 euron stipendeillä. Stipendien saajat olivat **Milja Jäppi**, **Ukko-Ville Mäkinen** ja **Paula Schroderus**, ja he kertoivat kukin lyhyesti oppinäytetöistään. Jäpin diplomityö Tampereen yliopistossa käsitteli hybridiautojen tuoreen pakokaasun ultrapienien hiukkasten päästöjä muuttuvissa ajo-olosuhteissa. Mäkinen esitteli myös Tampereen yliopistossa tehdyn diplomityön agglomeraatiokammion suunnittelemisesta nano-hiukkasten kemiallisen koostumuksen analysointiin. Tämän työn pohjalta julkaistiin tässä lehdessä oppinäytetyöartikkeli. Schroderus puolestaan palkittiin LAB-ammattikorkeakoululle tekemästään AMK-insinöörin oppinäytetyöstä, joka käsitti ehdotuksen ilmanlaadun seurannan järjestämisestä Kanta- ja Päijät-Hämeessä.

Pallaksella mitataan maailman puhtainta ilmaa

Ilmatieteen laitoksen **Antti-Pekka Hyvärinen** esitteli Pallas-Ounastunturin kansallispuistossa Sammaltunturin laella sijaitsevaa Pallaksen mittausasemaa, joka on osa maapallon ilmakehän tilaa seuraavaa 30 mittausasemaa käsittävää Global Atmosphere Watch-verkostoa ja yksi neljästä napapiirin pohjoispuolella sijaitsevasta asemasta. Asemalta on pitkät ilmanlaadun mittaussarjat, jotka osoittavat pitoisuuksien laskeeneen merkittävästi ja olevan nykyään niin matalia, että Pallaksella voidaan sanoa mitattavan maailman puhtainta ilmaa. Ilmansuojelupäivien päätteeksi kuultiin Ukrainan taloudesta, maatalouden kehityksestä ja ekologiasta vastaavan ministeriön yksikönjohtajan **Yuliia Romanenkon** terveiset sotaa käyvän maan hallinnosta. Ukraina pyrkii kehittämään maan ilmanlaadun hallintajärjestelmää ja hallinnon kapasiteettia niin, että rauhan tultua maa pystyy noudattamaan EU:n ilmanlaadudirektiivin vaatimuksia vuoteen 2030 mennessä.

Lopuksi yhdistyksen puheenjohtaja **Ville-Veikko Paunu** esitti kaikille kiitokset hyvin onnistuneista ilmansuojelupäivistä ja muistutti yhdistyksen tulevista tapahtumista. Seuraavina tulossa ovat syysseminaari ja syyskokous. Tietoa tapahtumista saa yhdistyksen verkkosivuilta ja Ilmansuojelulehdestä sekä

tilaamalla ISY:n uutiskirjeen. Yhdistys perustettiin vuonna 1976, joten tuleva vuosi 2026 onkin yhdistyksen 50. vuosijuhlavuosi. Puheenjohtaja **Paunu** toivotti kaikki lämpimästi tervetulleiksi juhluvuoden tapahtumiin. ■

Tervetuloa tulevan juhluvuoden 2026 tapahtumiin!



Ilmansuojeluyhdistyksen puheenjohtaja **Ville-Veikko Paunu** isännöi ilmansuojelupäiviä ensimmäistä kertaa.



ILMANSUOJELUYHDISTYS

Ilmansuojeluyhdistys (ISY) toimii alansa valtakunnallisena ympäristönsuojelujärjestönä. Ilmansuojeluyhdistyksen tarkoituksena on edistää ilmansuojelua ja ilmansuojelun tutkimusta Suomessa sekä toimia yhdyskuntien ja yhteisöjen välillä Suomessa ja ulkomailla. Ilmansuojeluyhdistys pyrkii toiminnallaan edistämään ilmansuojelualalla toimivien henkilöiden ammattitaitoa. Ilmansuojeluyhdistys on perustettu vuonna 1976.

Ilmansuojeluyhdistys:

1. seuraa alansa tutkimuksen, koulutuksen, tekniikan sekä hallinnon ja lainsäädännön kehitystä
2. suunnittelee ja järjestää koulutusta sekä keskustelutilaisuuksia
3. järjestää ekskursioita kotimaassa ja ulkomailla
4. tiedottaa ajankohtaisista ilmansuojeluasioista jäsenlehdessään
5. antaa lausuntoja ja tekee esityksiä alansa kuuluvista asioista
6. harjoittaa julkaisutoimintaa
7. osallistuu kansainväliseen tiedonvaihtoon

HALLITUS / STYRELSE

Puheenjohtaja / Ordförande
Ville-Veikko Paunu

Varapuheenjohtaja / Viceordförande
Maija Leino

Jäsenet / Medlemmar
Jouni Ahtiainen
Minna Kaila
Helena Kivi-Koskinen
Hanna Manninen

Varajäsenet / Suppleanter
Tuula Pellikka
Janne Ruuth
Topi Rönkkö
Hilkka Timonen

LUFTVÅRDSFÖRENINGEN

Luftvårdsföreningen fungerar som nationell miljöförädlingsförening. Luftvårdsföreningens syfte är att främja luftvården och luftvårds- forskningen i Finland och fungera som förbindelselänk mellan personer och samfund som arbetar med luftvårdsfrågor i Finland och utomlands. Luftvårdsföreningen strävar att främja yrkeskvaliteten hos personer som arbetar med luftvårdsfrågor. Luftvårdsföreningen är grundad år 1976.

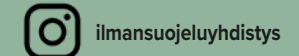
Luftvårdsföreningen:

1. följer med den vetenskapliga, forskningsmässiga, tekniska samt förvaltnings- och lagstiftningsmässiga utvecklingen i sin bransch
2. planerar och ordnar skolningstillfällen samt diskussionstillfällen
3. ordnar exkursioner både i Finland och utomlands
4. rapporterar om aktuella luftvårdsfrågor i sin medlemstidning
5. avger utlåtanden och tar initiativ i luftvårdsfrågor
6. bedriver publikationsverksamhet
7. deltar i det internationella luftvårdssamarbetet

YHTEYSTIEDOT / KONTAKT

ILMANSUOJELUYHDISTYS RY

Sihteeri Hanne Väistö
PL 136,
00251 Helsinki
Puh. 045 1335989
sihteeri@isy.fi



FINNISH AIR POLLUTION PREVENTION SOCIETY

Finnish Air Pollution Prevention Society (FAPPS) is the national air pollution prevention association. The purpose of FAPPS is to prevent air pollution and to promote the research of air protection in Finland. FAPPS connects people and communities working with air protection issues in Finland and abroad. FAPPS aims to further the professional skills of the people working in the field. FAPPS was founded in 1976.

FAPPS:

1. follows technical, scientific, administrative and legislative developments of air protection
2. plans and organizes education and seminars
3. organizes excursions in Finland and abroad
4. informs about air protection issues of current interest in the magazine of FAPPS
5. gives statements and prepares proposals about air protection issues
6. publishes
7. participates in the international information exchange

HNU Nordion Kaikki ilmanlaadun mittaukseen

HNU Nordion Ltd. Oy
Atomitie 5 B 6, 00370 Helsinki
Puh. 09 565 7240
info@hnunordion.fi
www.hnunordion.fi



KIRJOITTAJAT 3 | 2025

PÄIVI AAKKO-SAKSA

johtava tutkija
Teknologian tutkimuskeskus VTT
paivi.aakko-saksa@vtt.fi

JYRKI AAKKULA

kehittämispäällikkö
Luonnonvarakeskus
jyrki.aakkula@luke.fi

HEIDI AUVINEN

johtava asiantuntija
Liikenne- ja viestintävirasto Traficom
heidi.auvinen@traficom.fi

NIKO HEIKKINEN

erikoistutkija
Teknologian tutkimuskeskus VTT
niko.heikkinen@vtt.fi

TIINA KOLJONEN

johtava tutkija
Teknologian tutkimuskeskus VTT
tiina.koljonen@vtt.fi

KAARLE KUPIAINEN

neuvotteleva virkamies
ympäristöministeriö
kaarle.kupiainen@gov.fi

KATRIINA KYLLÖNEN

erikoistutkija
Ilmatieteen laitos
katriina.kyllonen@fmi.fi

KATRIANNE LEHTIPALO

professori
Helsingin Yliopisto
katrianne.lehtipalo@helsinki.fi

JUHA LEHTONEN

tutkimusprofessori
Teknologian tutkimuskeskus VTT
juha.lehtonen@vtt.fi

JUHA MIKOLA

tutkimuspäällikkö
Luonnonvarakeskus
juha.mikola@luke.fi

UKKO-VILLE MÄKINEN

tutkija
Tampereen yliopisto
ukko-ville.makinen@tuni.fi

TUUKKA PETÄJÄ

professori
Helsingin yliopisto
tuukka.petaja@helsinki.fi

TOPI RÖNKKÖ

professori
Tampereen yliopisto
topi.ronkko@tuni.fi

TARJA SILFVER

erikoistutkija
Luonnonvarakeskus
tarja.silfver@luke.fi

LASSI SIMILÄ

erikoistutkija
Teknologian tutkimuskeskus VTT
lassi.simila@vtt.fi

HILKKA TIMONEN

johtava tutkija
Ilmatieteen laitos
hilkka.timonen@fmi.fi

OUTI VÄKEVÄ

ilmansuojeluasiantuntija
Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY
outi.vakeva@hsy.fi

